



Rapport de sondages et d'analyses ***Le Kilian*** ***et les carrières anciennes de trachyte*** ***dans la Chaîne des Puys (Puy-de-Dôme)***

Octobre 2009-mars 2010

Didier Miallier ¹, Pierre Boivin², Bertrand Dousteysier ³, Nicolas Cluzel²

Avec la collaboration de

**Estelle Auzanneau ⁽⁷⁾, Jean-Claude Besson ⁽²⁾, Jérôme Besson ⁽³⁾,
Sandra Chabert ⁽³⁾, Jean-Pierre Couturié ⁽²⁾, Mickaël Dando ⁽⁵⁾, Jean-Luc Devidal
⁽²⁾, Bertrand Devouard ⁽²⁾, Franck Donnadiou ⁽²⁾, Aurélien Dupoux ⁽³⁾,
Franck Pointud ⁽²⁾, Bertrand Farrié ⁽⁵⁾, Jean-Louis Fruquière ⁽²⁾,
Vincent Héritier ⁽⁷⁾, Philippe Labazuy ⁽²⁾, Alexis Merle ⁽³⁾, Grégoire Meunier ⁽⁵⁾,
Daniel Parent ⁽⁴⁾, Stéphane Petit ⁽⁶⁾, Lucie Pruneyrolles ⁽³⁾, Pauline Verdier ⁽⁵⁾.**

1 : Laboratoire de Physique Corpusculaire, IN2P3-CNRS, Université Blaise Pascal

2 : Laboratoire Magmas et Volcans, OPGC, Université Blaise Pascal

3 : CHEC, Maison des Sciences de l'Homme, Université Blaise Pascal

4 : INRAP

5 : Étudiants en classe préparatoire, Lycée Blaise Pascal

6 : Veodis-3D, Maison des Sciences de l'Homme, Université Blaise Pascal

7 : Étudiants en M2Pro, Géologie de l'Aménagement, Université Blaise Pascal

Références administratives

Opération archéologique n°6553

Arrêté d'autorisation de sondage archéologique n°2009-226

Concernant :

Région Auvergne

Département : Puy-de-Dôme

Communes : Orcines et Saint-Genès-Champanelle

Responsable : Didier Miallier

Résumé

En 2008, l'existence de carrières souterraines médiévales avait été mise en évidence dans la pente ouest du Bois de Manson qui domine la dépression du Cratère Kilian, au pied sud du puy de Dôme. En 2009-2010, des sondages et prospections ont été étendus à tout l'ensemble du Kilian de façon à préciser l'étendue et, si possible, la chronologie de son exploitation dans le passé. Ces travaux ont permis d'observer, dans le fond du cratère et sur son flanc interne ouest, des amoncellements de déblais d'un volume considérable, témoignant d'une extraction de roche à grande échelle durant le haut Moyen Âge et très probablement aussi à l'époque gallo-romaine. Une nouvelle carrière souterraine a été découverte dans la pente interne ouest du cratère. La base du remplissage de cette carrière a livré des charbons datés entre la fin du IV^e siècle et le début du VI^e siècle par le radiocarbone, tandis que le sommet du remplissage contenait des tessons de céramique datables, par leur typologie, de la fin du V^e siècle au début du VIII^e siècle.

L'état actuel des investigations conduit à faire l'hypothèse que les gallo-romains ont exploité, au fond du cratère, un trachyte compact dont on ne trouve aujourd'hui que les déchets de taille, et dont les affleurements sont masqués par les déblais, tandis que les artisans du Moyen Âge ont recherché un trachyte plus tendre dans les pentes hautes du cratère.

Le Kilian doit donc s'ajouter aux trois sources actuellement connues de trachyte d'œuvre dans le passé, à savoir les volcans Sarcoui, Aumône (ou petit Suchet) et Cliersou. Dès cette découverte, en 2008, s'est posée la question de savoir quelle part éventuelle le trachyte du Kilian avait pu prendre dans la construction du temple de Mercure au sommet du puy de Dôme et dans l'agglomération gallo-romaine située au col de Ceyssat. Pour y répondre, une campagne d'analyses géochimiques et pétrographiques été engagée pour caractériser, aux fins de comparaison, non seulement les trachytes du Kilian et ceux des ruines gallo-romaines, mais, de plus, les trachytes du Cliersou, de l'Aumône et du Sarcoui.

Ces analyses ont finalement montré qu'il est possible de faire une discrimination statistiquement significative entre les différents trachytes étudiés, à l'exception de ceux du couple Cliersou-Aumône dont les laves sont très peu différentes les unes des autres. Le résultat le plus remarquable est que tous les trachytes gallo-romains échantillonnés (dont 10 échantillons distincts au temple de Mercure et 10 au col de Ceyssat) se rattachent sans ambiguïté au Kilian.

En toute rigueur, ces nouvelles données ne permettent pas d'exclure sans appel la possibilité d'utilisation à l'époque gallo-romaine, au temple de Mercure et au col de Ceyssat, de trachytes provenant d'autres sources que le Kilian (cas des chaperons de mur du col de Ceyssat, provenant du puy de Dôme). Cependant, il faut ajouter qu'un examen visuel des trachytes d'œuvre dans ces deux sites, portant sur un nombre de moellons et d'éléments architecturaux bien supérieur au nombre de ceux qui ont été analysés, conduit à conclure que leur source est probablement commune. Cette conclusion est basée sur un faciès minéralogique particulier, observable à l'œil nu ou à la loupe.

Sommaire

1. INTRODUCTION	1
2. NOUVELLES DONNÉES VOLCANOLOGIQUES ET ARCHÉOLOGIQUES SUR LE KILIAN	3
2-1. Volcanologie.....	3
2-2. Nouvelles observations archéologiques dans le Kilian (sondages 2009).	5
2-2-1. Nouveaux indices apparents de l'intervention humaine.	5
2-2-2. Découverte d'une quatrième carrière souterraine	7
2-2-3. Cartographie du cratère Kilian	9
3. ANALYSES PÉTROGRAPHIQUES ET GÉOCHIMIQUES DES TRACHYTES	11
3-1. Échantillonnage.....	11
3-2. Méthodes mises en œuvre.....	12
3-3. Résultats.....	12
3-3-1. Analyses pétrographiques	12
3-3-2. Analyses géochimiques en roche totale	18
3-3-3. Analyses géochimiques ponctuelles (microsonde électronique)	20
3-4. Compilation et discussion des analyses	23
4. ANALYSES MÉCANIQUES DES TRACHYTES	25
4-1. Échantillonnage.....	25
4-2. Méthodes mises en œuvre.....	25
4-2-1. Détermination de la masse volumique	25
4-2-2. Mesure de la vitesse de propagation des ultrasons	25
4-2-3. Mesure de la résistance à la compression simple	26
4-3. Résultats.....	26
4-4. Synthèse des caractéristiques physiques des trachytes étudiés.....	27
4-4-1. Trois groupes de trachytes	27
4-4-2. Les moellons gallo-romains	28
4-4-3. Justification du choix du matériaux du Kilian	29
5. CONCLUSIONS	32
ANNEXE 1. TOPONYMIE.	I
ANNEXE 2. ILLUSTRATIONS COMPLÉMENTAIRES.....	III
A2-1. Sondage S1.....	III
A2-2. K7/S2 position sur le flanc du cratère et plan	IV
A2-3. Sondage S2.....	IV
A2-4. Echantillonnage du grand appareil du Temple de Mercure	VI
A2-5. Images X	VII
ANNEXE 3. TABLES	IX
A3-1. Coordonnées des cavités et affleurements reconnus dans le cratère Kilian ($\pm 10m$).....	IX
A3-2. Échantillonnage étudié dans ce travail.....	X
A3-3. Paragenèses complètes observées dans les échantillons	XIII
A3-4. Composition Roches Totales des trachytes étudiés(analyses nouvelles)	XIV
A3-5. Compositions moyennes des phénocristaux de feldspath.....	XVI
A3-6. Compositions moyennes des phénocristaux d'amphibole	XVI
A3-7. Compositions moyennes des phénocristaux de clinopyroxène.....	XVI

A3-8. Compositions moyennes des microlites de clinopyroxène	XVI
A3-9. Compositions moyennes des phénocristaux de biotite	XVI
A3-10. Paramètres mécaniques des trachytes	XVII
ANNEXE 4. DATATION DES CÉRAMIQUES DU SONDAGE 2, KILIAN 2009	XIX
A4-1. Corpus de référence disponible.....	XIX
A4-2. Quantification.....	XIX
A4-3. La pâte et la cuisson.....	XIX
A4-4. Les formes.....	XX
<i>A4-4-1. Les bords</i>	XX
<i>A4-4-2. Les fonds</i>	XXI
A4-5. Conclusion	XXI
A4-6. Bibliographie.....	XXI
ANNEXE 5. RÉSULTAT D'ANALYSE PAR LE RADIOCARBONE.....	XXIII

1. Introduction

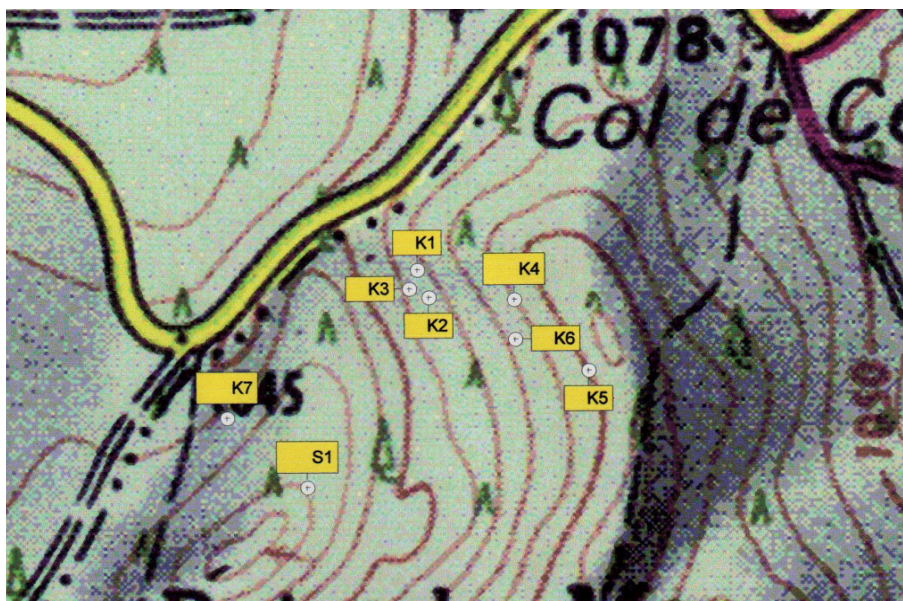


Figure 1. Localisation des sondages de 2009. S1 : sondage dans le bord du remplissage anthropique du cratère ; K7: nouvelle carrière souterraine. Les repères K1 à K6 sont les affleurements et cavités étudiés en 2008. (Tableau des coordonnées à l'annexe A3-1).

Le Kilian est un volcan trachytique peu spectaculaire et mal connu centré autour d'une dépression profonde (environ 40 m), allongée (environ 200 m x 50 m) et réniforme, installée au pied sud-ouest du puy de Dôme (Fig 1 et carte *in* Boivin *et al.*, 2009. Autrefois nommée Cros Manal ou Cros Manau, c'est-à-dire le creux Manau (Cf. Annexe 1: toponymie), cette dépression a été renommée « Cratère Kilian » au début du XX^e siècle par le volcanologue Philippe Glangeaud (1913). Mais ce

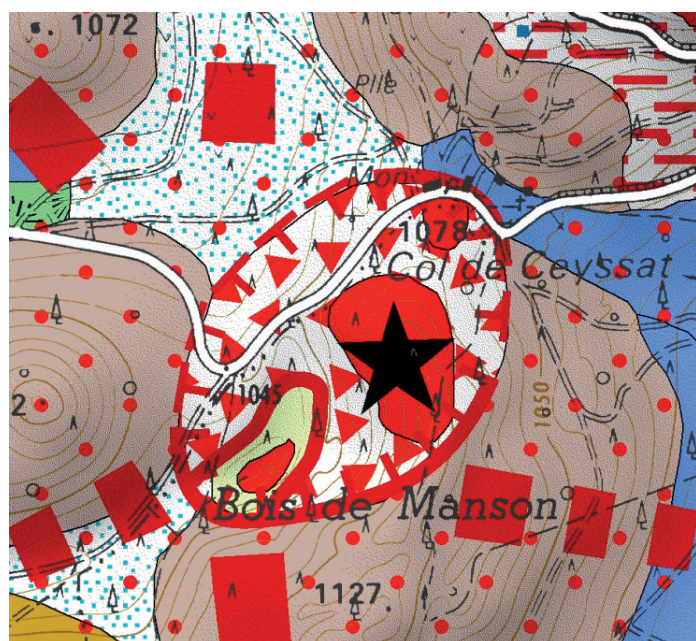


Figure 2. Carte volcanologique du secteur du Kilian (extrait de Boivin *et al.*, 2009). Le trachyte massif, en place, est représenté en rouge. Le trait rouge avec des barbules délimite le cratère initial d'ouverture, hypothétique. Les points rouges représentent les projections du Kilian.

n'est que beaucoup plus tard que la nature du volcan a été véritablement comprise et que son impact sur le centre de la Chaîne des Puys a été découvert dans toute son ampleur (Baudry et Camus, 1970 ; Foury, 1983 ; Michon, 1996).

Le schéma actuellement adopté pour décrire le Kilian est celui d'une protrusion de lave très visqueuse qui a grandi dans un cratère d'explosion, puis été décapitée par les explosions de la phase finale de l'éruption, il y a environ 9300 ans (Miallier *et al.*, 2004). Les témoins connus en sont : (1) un cratère jouxtant, à l'ouest, une masse rocheuse de trachyte en place ennoyée dans les flancs d'un cône basaltique plus ancien (Bois de Manson et puy des Grosmanaux, Fig 2 et (2) une vaste nappe

de téphras mis en place sous la forme de retombées ou de déferlantes qui recouvrent une aire très étendue englobant en particulier le puy de Dôme lui-même. Il est utile de préciser, pour la suite, que la zone du Kilian est fortement accidentée et densément boisée de telle sorte qu'il est assez difficile d'en comprendre la structure à vue.

En 2008, des indices d'une exploitation ancienne du trachyte massif ont été notés sur les flancs internes occidentaux du Cratère Kilian (Miallier *et al.*, 2009a). Des sondages subséquents ont rapidement confirmé la présence de carrières souterraines masquées par une sédimentation naturelle recouvrant elle-même d'importants amoncellements de déblais rocheux d'origine anthropique (opération archéologique n°6347/arrêté n°2008-2010). Les éléments archéologiques ont montré que le trachyte du Kilian a été exploité durant le haut Moyen Âge, mais la question d'une exploitation gallo-romaine s'est naturellement posée.

En effet, les trachytes de la Chaîne des Puys, sous le nom usuel de dômite, ont été utilisés comme matériau de construction à l'époque gallo-romaine. Les deux sites de la région où cette utilisation a été la plus systématique sont le temple dédié à Mercure, au sommet du puy de Dôme (Provost et Menessier-Jouanet, 1994 ; Gély *et al.*, 2008) et l'agglomération gallo-romaine du col de Ceyssat, au pied du puy de Dôme (Trément *et al.*, 2003). Ces deux sites sont, il faut le souligner, très proches du Kilian. En outre, le trachyte a été déterminé comme étant la matière première d'un certain nombre de sculptures ou d'éléments d'architecture gallo-romains trouvés en région clermontoise (dont quelques exemples au musée Bargoin de Clermont-Ferrand).

Les trachytes de la Chaîne des Puys ont aussi été massivement exploités durant le haut Moyen Âge pour la fabrication de sarcophages (Lecoq, 1831, Charvillat, 1919, Fournier, 1973, Gaime *et al.*, 2000). Plus tard, ces trachytes ont été mis en œuvre dans différentes églises dont nous n'avons pas l'inventaire complet. Citons l'église de Montfermy (XI/XII^e siècles) dont tout le gros œuvre primitif est en trachyte, à l'exception de quelques éléments du porche, en arkose. L'église d'Orcines comprend quelques moellons de trachyte en alternance avec une trachy-andésite dans des parties qui peuvent être tardives (clocher et contreforts de la nef). L'abbatiale de Mozac (remaniée à de nombreuses reprises entre sa fondation préromane et l'époque moderne) utilise aussi le trachyte en association avec d'autres roches claires (information Y. Connier). L'église de Chamalières comprend quelques rares blocs de trachyte introduits dans une restauration non datée de la façade occidentale. Enfin, le trachyte a pu être utilisé pour des éléments de fours de boulange (XIX/XX^e siècles, Connier et Prival, 2008).

Ce contexte nous a incités à étendre les investigations sur l'exploitation antique et médiévale du trachyte du Kilian, ce qui a donné lieu à l'opération archéologique dont les résultats sont présentés ci-après. Cette opération a compris deux volets. D'une part, l'étude archéologique du Cratère Kilian lui-même a été poursuivie. D'autre part, nous avons entrepris, en parallèle, une recherche dont l'objectif principal était de déterminer si le trachyte du Kilian avait été mis en œuvre à l'époque gallo-romaine. Ce travail a fait appel, aux fins d'intercomparaisons, à une étude pétrographique et géochimique de trachytes échantillonnés d'une part sur des vestiges gallo-romains et d'autre part sur les quatre volcans trachytiques de la Chaîne des Puys qui ont fait l'objet d'une exploitation connue en carrière dans le passé : les puys Sarcoui, Cliersou, Aumône (ou Petit Suchet), et le Kilian lui-même. Nous avons également utilisé des bases de données acquises dans le cadre d'autres recherches, pour les deux autres volcans trachytiques : le Chopine et le puy de Dôme.

2. Nouvelles données volcanologiques et archéologiques sur le Kilian

2-1. Volcanologie

Sur la carte volcanologique la plus récente (Boivin *et al.*, 2009 et Fig 2) sont reportées deux principales zones de présence du trachyte massif, la plus importante dans l'extrémité nord-ouest du puy des Grosmanaux (ou Bois de Manson) et la seconde au milieu de la dépression centrale (le Cros Manau), centre supposé du cratère. Une troisième zone, très petite, est indiquée au niveau du col de Ceyssat. Les nouvelles observations confirment l'existence de la première zone (nord-ouest du puy des Grosmanaux), mais ni celle du col de Ceyssat, ni celle de la dépression centrale. Selon Michon (1996), « le trachyte cartographié au fond du cratère n'est qu'un éboulis de gros blocs trachytiques ». Selon nous, il y a essentiellement, dans la partie la plus profonde du cratère, des gros blocs (50 – 100 cm environ) de vieux basaltes sur lesquels viennent latéralement s'accumuler des blocs pluridécimétriques de trachyte en provenance des tas de déblais que nous avons identifiés dans le cadre de ce travail. En revanche, toute la bordure nord-ouest du cratère porte d'importants affleurements de trachyte massif, en place, non représentés sur la carte, mais dont une partie avait déjà été repérée par Michon vers 1995. Ces affleurements offrent souvent, du côté interne du cratère, des parois sub-verticales dont la hauteur peut dépasser plusieurs mètres. Le trachyte visible en place est une roche très claire, tendre (son mat sous le marteau) et altérée en surface. Elle est, par endroits (à l'extrémité nord-ouest du cratère), colorée par une fumerolisation tardi-éruptive.

La carte représente, par ailleurs, les contours d'un vaste cratère d'explosion qui englobe tout le Kilian (Fig 2). Ce cratère se réfère implicitement à l'hypothèse selon laquelle le système volcanique a été initié par une forte explosion ouvrant un passage dans le substratum. Si cette hypothèse, basée sur l'analyse des projections distales, n'est pas actuellement remise en question, il faut cependant souligner que les contours proposés ne reposent ni sur des observations précises de terrain, ni sur des données géophysiques. Ils sont mis en doute par Michon (1996).

La structure apparente du cratère central est nettement plus complexe que ne le laissent apparaître les courbes de niveau, y compris sur la carte la plus précise (carte d'état major N°5–6, au 1/20000, Service Héliographique de l'armée, 1933). En anticipant sur les paragraphes suivants, il convient de souligner que la forme originale du cratère a été profondément modifiée par l'intervention humaine.

Sous réserve des futures conclusions d'une étude approfondie des projections du Kilian (en cours), seule possibilité de connaître dans le détail l'histoire du volcan, il est possible d'en donner un schéma éruptif simplifié, suffisant pour l'objet principal de ce rapport :

Phase 1 : ouverture explosive d'un passage dans le substratum, avec projections d'éléments arrachés au substrat (vieux basaltes, granite, aplite, schiste) et de magma juvénile (bombes, ponces, lapilli et cendres).

Phase 2 : croissance d'une protrusion visqueuse de trachyte au centre du cratère

Phase 3 : destruction explosive – avec une forte contribution phréatique – du cœur de la protrusion.

La phase 3 a laissé le cratère central, visible aujourd’hui et une demi-couronne relictuelle de protrusion, en forme de dent creuse (Fig 3 et 2).

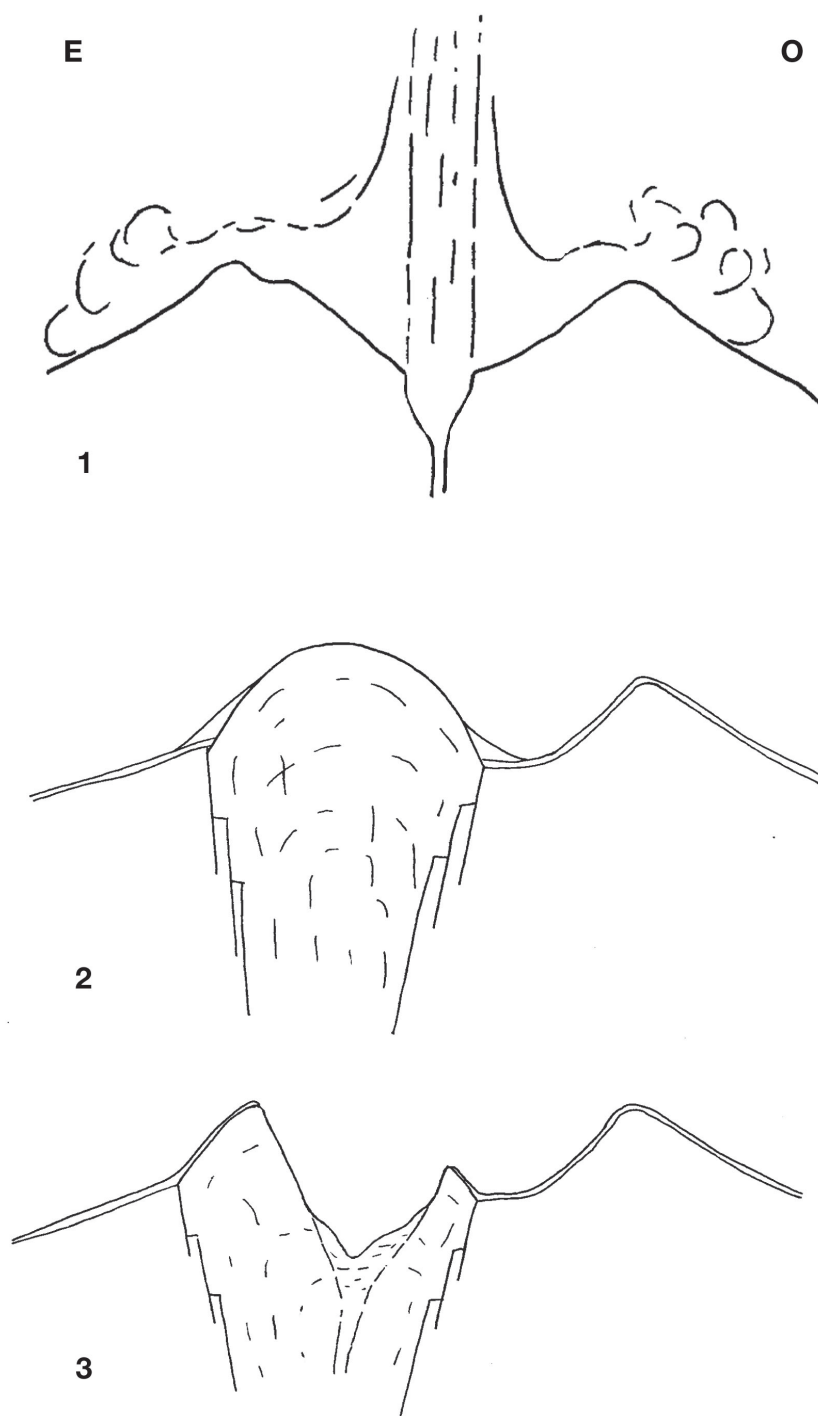


Figure 3. Interprétation d'après Michon 1996, simplifiée. Légende, voir texte.

2-2. Nouvelles observations archéologiques dans le Kilian (sondages 2009).

2-2-1. Nouveaux indices apparents de l'intervention humaine.

Les travaux de 2008 étaient cantonnés dans la partie est du cratère, et en hauteur. En 2009, les investigations ont été étendues au fond du cratère et dans sa partie ouest. La forte anthropisation du Kilian est d'abord nettement perceptible en surface, sans qu'il soit nécessaire de faire des sondages. Elle se traduit par l'existence de tout un système de terrasses horizontales – inexplicables du point de vue volcanologique - qui s'étagent depuis le fond jusqu'en haut des flancs du cratère (Fig 4).



Figure 4. Terrasse sur le flanc NO du cratère Kilian. Miallier©.

La plus importante de ces terrasses occupe la moitié nord du fond du cratère et se termine brusquement vers le sud par un fort talus d'éboulis dominant le fond original du cratère d'environ 12 m. Un sondage (1 x 4,5 m et 1,2 m de profondeur) au bord de cette terrasse a permis de vérifier qu'elle était constituée par des épandages successifs de déchets trachytiques de différentes tailles (Sondage S1, Fig 5 et annexe A2-1). Les blocs ont des cassures fraîches, portent souvent des traces de percussion avec un outil pointu, et présentent pour certains des dièdres - voire des trièdres droits. Ainsi, certains blocs évoquent des bris accidentels de produits équarris, semi-finis. Une catégorie remarquable est constituée de grosses écailles (jusqu'à environ 30 cm de largeur) comprenant un talon plat, une face plus ou moins plate et une face bulbeuse (Fig 6). Ces éléments sont les témoins de retouches grossières pratiquées avec un têt (masse de carrier) sur des blocs extraits d'une carrière (Y. Connier, com. pers. 2009). Le talon est un résidu du plan de frappe, tandis que le bulbe a été formé par la propagation des ondes de choc. Le trachyte est soit semblable à celui observé au

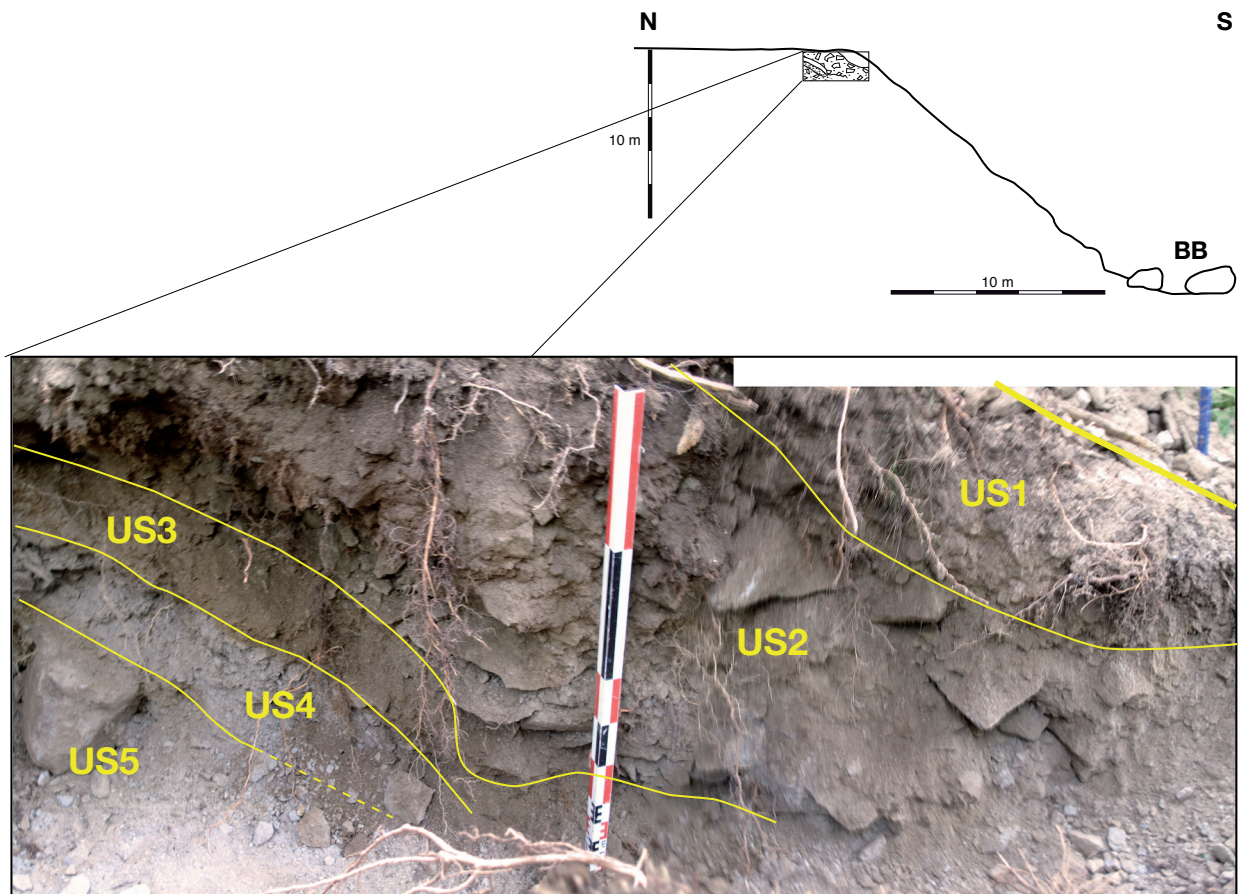


Figure 5. Sondage S1. Coupe N-S, dans le bord sud de la terrasse de remplissage du cratère Kilian. La stratigraphie est une succession de niveaux d'épandage lités, peu distincts les uns des autres, si ce n'est par des faibles variations de couleur de matrice et de taille moyenne des blocs. De très gros blocs de natures diverses (vieux basaltes principalement) sont présents en bas du talus (BB). US1 : humus forestier emballant quelques blocs de trachyte ; US2 : blocs de trachyte, plus abondants qu'en US1, dans une matrice terreuse ; US3 : petits blocs et gravillons de trachyte dans une matrice ocre humifère ; US4 : gravillons et sable de trachyte gris. US5 : blocs de trachyte dans une matrice de gravillons et de sable trachytique grise surmonté d'un liseré ocre humifère. Boivin©.

niveau des affleurements, soit d'un aspect apparenté à ce dernier mais cependant plus dense et plus dur, mieux approprié à la construction.

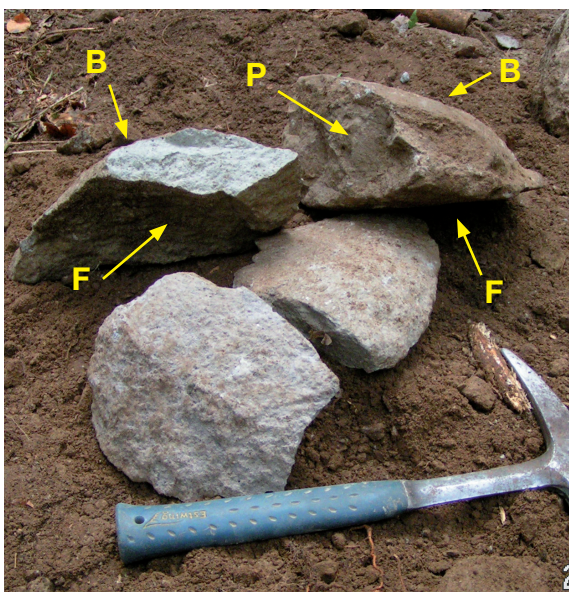


Figure 6. S1. Blocs de trachyte en écaille. P : plan de frappe ; B : bulbe ; F : face plane (voir le texte). Miallier©.

D'autres terrasses, hautes de 2 à 4 m environ reposent sur la principale, en retrait par rapport à son extrémité sud. Certaines sont en continuité avec les pentes latérales du cratère, surtout du côté occidental. Les terrasses les plus hautes surplombent le cratère à différentes altitudes et se présentent généralement en dessous d'affleurements de trachyte massif. Aux nez de certaines terrasses les blocs de trachyte constitutifs, à peine cachés par de la mousse, sont manifestement des déchets d'exploitation sans aucune caractéristique de projections.

2-2-2. Découverte d'une quatrième carrière souterraine

En 2008 (Miallier *et al.*, 2009a), trois carrières souterraines avaient été partiellement explorées sur le flanc interne est du cratère. En 2009, une nouvelle carrière souterraine (cavité K7) a été découverte sur le flanc interne ouest, dans un sondage (S2) pratiqué au pied d'un affleurement rocheux (illustration de couverture). L'entrée de la cavité n'était pas visible ni même soupçonnable depuis la surface (Fig 7) .

La cavité était comblée jusqu'à quelques décimètres de sa voûte. Le remplissage a été



Figure 7. Entrée de la cavité K7 (sondage 2). Boivin©.

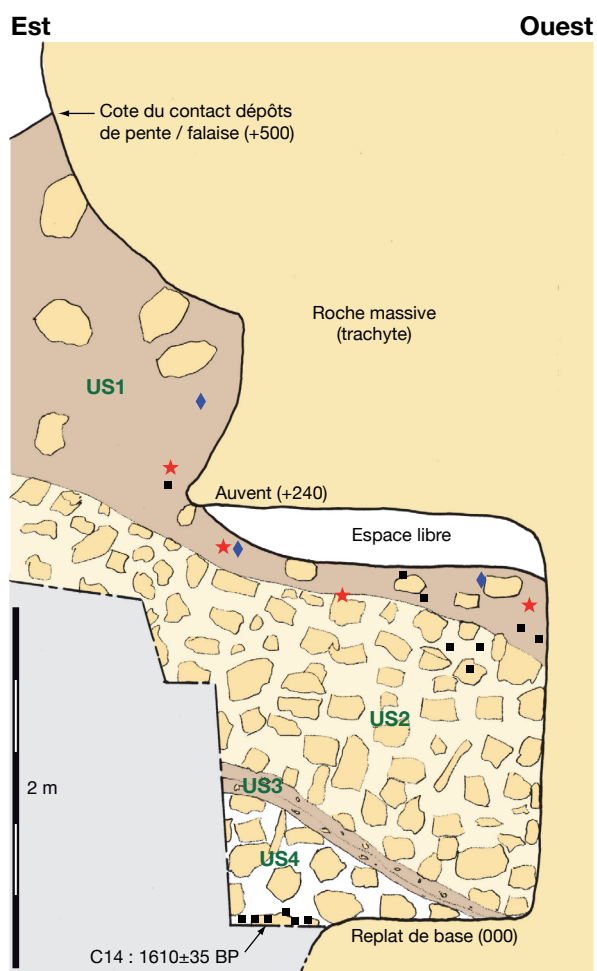


Figure 8. Coupe est-ouest de la cavité K7 (sondage 2, 2009) et de son remplissage. Légende : étoile : tesson de poterie ; carré noir : charbon ; losange : fragment osseux. Unités stratigraphiques : US1 : Sédiment forestier avec sables trachytiques et quelques blocs de trachyte de différentes tailles ; US2 : blocs de trachyte de différentes tailles dans une matrice trachytique blanche ; US3 : sédiment trachytique et terreux ; US4 : blocs de trachyte de différentes tailles, aérés (peu de matrice). Dessin Miallier. DAO Boivin.

exploré dans toute son épaisseur jusqu'à un replat rocheux situé à environ 2 m sous la voûte. Le haut du remplissage est un sédiment forestier léger (US1, Fig 8) dans lequel ont été recueillis quelques tessons d'une poterie non tournée, à pâte grossière noire (Fig 9). L'ensemble de ces tessons peut être attribué au haut Moyen Âge (détermination Sandra Chabert, CHEC). Le reste du remplissage est une accumulation de déchets trachytiques, se présentant en deux unités distinctes (US2 et US4), à fort pendage vers l'intérieur. Ces deux unités sont séparées l'une de l'autre par un lit de trachyte de petit calibre à matrice terreuse (US3). La partie supérieure de l'unité US2 était riche en fragments de bois carbonisé. La base de l'unité inférieure (US4) contenait une loupe de fragments de bois carbonisé (Fig 10) qui peut être interprétée comme un foyer marquant probablement un niveau de sol d'occupation.



Figure 9. Poterie non tournée, à pâte grossière noire trouvée dans S2 (US1).



Figure 10. Amas de charbon de bois (reste de foyer ?) à la base de US4 dans S2. Dousteyssier©.



Figure 11. Bloc détourné par un havage et non enlevé, au-dessus de l'entrée de K7, S2. Boivin©.

Les parois de la cavité portent des marques d'abatage et des fonds de saignées de havage de blocs dont la géométrie évoque des sarcophages. Un bloc détourné par un havage et non enlevé marque le dessus de l'entrée de la cavité, dans une position oblique par rapport à l'horizontale (Fig. 11)

Suivant ces observations, cette cavité et ses abords ont dû enregistrer plusieurs phases d'exploitation – le sédiment US3 marquant une interruption de durée indéterminée entre deux phases distinctes. La dernière période d'exploitation intéresse des zones voisines de la cavité elle-même, puisque cette dernière était alors déjà en grande partie comblée. Elle se situe probablement entre la fin du V^e siècle et le début du VIII^e siècle (voir Annexe 4). Le niveau charbonneux à la base de l'US4 pourrait être contemporain d'une phase de creusement de la cavité. L'analyse du radiocarbone d'un échantillon de charbon, effectuée au Centre de Datation par le Radiocarbone de Villeurbanne (CDRC, Université Claude Bernard, Lyon I), a donné : 1610 ± 35 BP (Ly-15114, Annexe 5). La calibration de ce

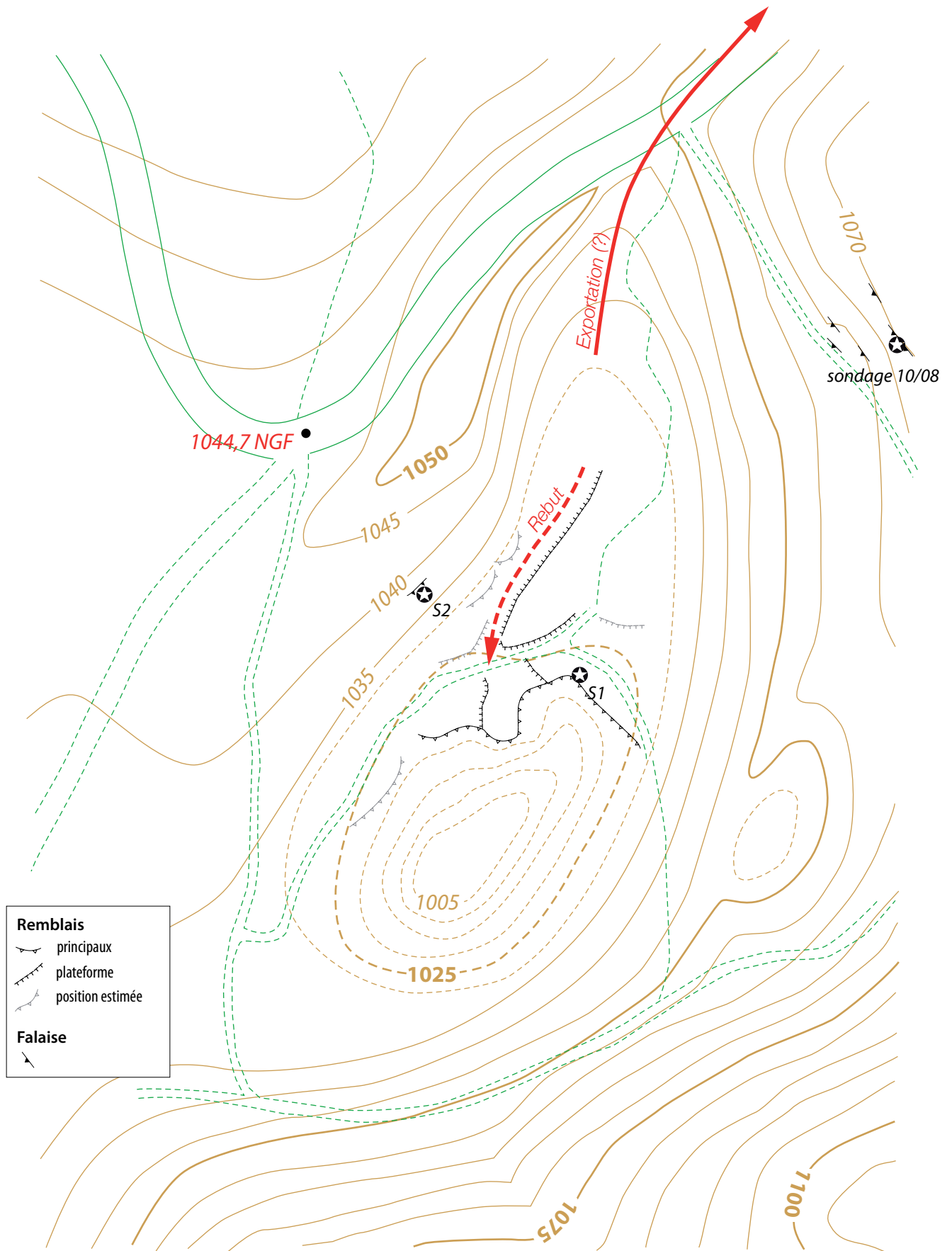
résultat conduit à l'intervalle chronologique [389 - 539] ap. J.-C., avec une probabilité de 95 %. En revanche, il est postérieur au comblement inférieur du bas de la paroi rocheuse, non exploré. La topographie suggère que ce comblement est épais ; ainsi la cavité K4 se trouverait en position haute dans un front de carrière.

2-2-3. Cartographie du cratère Kilian

Devant le nombre de formations anthropiques occupant les pentes internes et le fond du cratère Kilian, il est rapidement devenu indispensable d'en avoir un levé topographique détaillé. Devant la difficulté de la tâche à cause de la forêt et des fortes pentes (DGPS et théodolite inopérants), et en l'absence de moyen spécifique (un projet de financement pour un levé aéroporté LIDAR de haute résolution est en cours d'examen par le Conseil Général 63), un levé préliminaire des parties essentielles a été réalisé avec l'aide de Jean-Pierre Couturié (carte page suivante).

Le flanc sud du cratère, probablement peu retouché, constitue la partie sud de la dépression ouverte à la base du cône strombolien de Grosmanaux. Une petite dépression annexe au SE pourrait être un cratère adventif. Les 2/3 nord du cratère Kilian sont occupés par les terrasses de remblais décrits précédemment et dont l'épaisseur atteint environ 15 m sur le rebord sud. Leur surface totale est voisine de 9.000 m² et leur disposition suggère un front principal d'exploitation au NE de la dépression. Dans la partie ouest de cette zone de remblais, une dépression linéaire évoque une voie de service à la fois pour se débarrasser des déblais vers le sud, dans la dépression du cratère, et pour exporter les blocs, vers le NNE en direction du col de Ceyssat et de la voie Agrippa.

Cratère Kilian



3. Analyses pétrographiques et géochimiques des trachytes

3-1. Échantillonnage

Les trachytes mis en œuvre par les gallo-romains ont été échantillonnés principalement au sommet du puy de Dôme et dans l'agglomération gallo-romaine du col de Ceyssat (Annexe 3-Table 2). Les échantillons du premier site proviennent de déchets de taille trouvés au cours d'un sondage archéologique (sondages INRAP, 2008; direction D. Parent), de blocs architecturaux épars au voisinage du temple de Mercure ou, enfin, d'éléments architecturaux en place dans



Figure 12. Prélèvement C705 (fragment détaché par le gel) sur l'emmarchement SE du temple de Mercure. Boivin©.

le temple lui-même (Fig 12 et Annexe A2-4; prélèvements effectués en présence de H. Darteville, SRA Auvergne). Ces derniers échantillons se rattachent à l'agrandissement du temple (première moitié du second siècle de notre ère), la partie la plus ancienne du temple (milieu du premier siècle) étant construite en arkose (Gély *et al.*, 2008). Sur le second site (agglomération antique du col de Ceyssat), dont l'essentiel de la construction est en trachyte (Trément *et al.*, 2003), des moellons de petit appareil prélevés aux pieds de murs gallo-romains ruinés ont été échantillonnés. Il en a été de même pour une construction gallo-romaine (point 9 ; Trément *et al.*, 2003), située à l'ouest du col de Ceyssat, le long de la voie romaine (Fig 13). Le terme « moellon » sera utilisé de façon générique plus loin dans le texte pour regrouper tous ces échantillons. Enfin, une petite statue représentant le classique « cavalier à l'anguipède » découverte très récemment à Riom (Grande Limagne) et datée de la période 150 – 250 (Segard, 2010) a permis d'analyser un trachyte utilisé en statuaire. Il faut noter qu'à l'époque gallo-romaine l'utilisation du trachyte est rare en dehors du voisinage immédiat du puy de Dôme et qu'elle semble alors limitée à des éléments sculptés, en statuaire ou en architecture. C'est le cas d'un éclat de taille trouvé sur le site du théâtre de Montaudou qui nous a été communiqué par Christian Le Barrier (INRAP) pour expertise pendant la rédaction de ce rapport.



Figure 13. Restes de murs en petit appareil ayant été échantillonnés ; maison située en bordure de la voie romaine, à l'ouest du col de Ceyssat (Point 9; Trément *et al.*, 2003). Auzanneau©.

Afin de réaliser un corpus de données sur les trachytes de la Chaîne des Puys, des prélèvements ont aussi été réalisés dans les anciennes carrières souterraines du puy de l'Aumône, du puy de Cliersou (carrières nord et carrières sud, Miallier *et al.*, 2009b), sur le Grand Sarcoui (grande carrière sud, carrières est, faces ouest et nord (sans traces d'exploitation) et, bien sûr, dans le Cratère Kilian,

dans les carrières fouillées et dans les déblais découverts au fond du cratère. Si l'utilisation du trachyte des trois premières sources citées est bien attestée pour la fabrication des sarcophages médiévaux (Gaime *et al.*, 2000), entre autres parce que les traces d'enlèvement en sont évidentes *in situ* (voir, par exemple, Fournier, 1973), elles sont aussi réputées avoir déjà servi à l'époque gallo-romaine (Cf., par exemple, Provost et Menessier-Jouannet, 1994), ce qui a encore été réaffirmé très récemment d'après l'examen des fronts de carrières et quelques observations de lames minces dont la description précise n'a pas été publiée (Gély *et al.*, 2009).

3-2. Méthodes mises en œuvre

Les analyses des trachytes ont toutes été effectuées au Laboratoire Magmas et Volcans (LMV) de l'université Blaise Pascal. Les méthodes mises en œuvre sont la pétrographie en lame mince (fabrication des lames : Christophe Constantin, analyse des lames P. Boivin), l'analyse des éléments majeurs sur roche totale par spectroscopie d'absorption atomique (analyses effectuées par Mhammed Benbakkar) et l'analyse ponctuelle des minéraux par microsonde électronique (analyses effectuées par P. Boivin, N. Cluzel et J.L. Devidal) ou en micro-spectrométrie RAMAN (N. Cluzel, B. Devouard). Quelques images élémentaires ont été également acquises afin de caractériser la texture des mésostases très difficilement étudiables au microscope optique à cause de la très petite taille des cristaux.

Tous les résultats ont été compilés et analysés par P. Boivin.

La pétrographie permet de décrire les aspects macroscopiques et microscopiques (faciès, texture, minéralogie) des échantillons. L'analyse en roche totale (10 éléments analysés) permet de préciser la nature du magma et peut parfois être discriminante entre deux sources distinctes d'un même type de lave. L'analyse à la microsonde (9 éléments analysés) donne des renseignements de même nature que l'analyse en roche totale, mais à l'échelle de minéraux individuels millimétriques ou submillimétriques ; elle permet en outre d'étudier la répartition spatiale des éléments simples dans les minéraux.

3-3. Résultats

La liste des échantillons récoltés et étudiés pour ce travail est rassemblée dans la table 2 de l'annexe 3. Tous ont fait l'objet d'une lame mince qui a servi ensuite à choisir les échantillons les plus représentatifs pour être analysés en géochimie et à la microsonde électronique. À noter que toutes les lames minces ont été scannées à la résolution de 4,7 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ (5400 dpi) ce qui permet d'avoir une vue excellente de la texture de la roche et de ses phénocristaux, mais ne résout pas complètement la mésostase dont beaucoup de cristaux sont trop petits.

3-3-1. Analyses pétrographiques

3-3-1-1. Trachytes de la Chaîne des Puys

Tous les échantillons étudiés sont de nature trachytique et contiennent essentiellement des cristaux de feldspaths calco-sodiques plagioclase (Plagio) et alcalins (Na-Sanidine) accompagnés en faible

quantité de clinopyroxènes (Cpx), d'amphibole ou de micas (Biotite) selon les cas. Des minéraux accessoires ubiquistes sont également présents (apatite, titano-magnétite). Tous les trachytes de la Chaîne des Puys sont porphyriques, c'est à dire que des cristaux plurimillimétriques baignent dans une mésostase (pâte interstitielle) à grain fin (typiquement 50-150 μm). Ces petits cristaux peuvent dessiner la « texture trachytique » classique (alignement matérialisant des figures d'écoulement) mais ce trait est loin d'être systématique. Nous utilisons le terme trachyte tel qu'il a été défini dans le cadre de la classification chimique IUGS 2002, ce qui correspond dans le cas de la Chaîne des Puys à des laves dont la teneur en silice est comprise entre 60 et 68,5 % (au-delà il s'agit de rhyolite, seulement représentée par quelques faciès du puy de Dôme ou du puy Chopine).

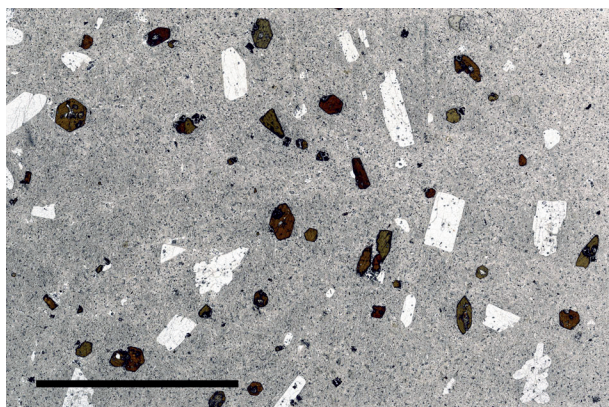
Chacun des trachytes de la Chaîne des Puys se caractérise par un assemblage minéralogique unique, sauf pour Cliersou et Aumône quasi identiques. Ceci pourrait suffire à les distinguer sans davantage d'analyse si des phénomènes complexes de mélange de magmas, d'inclusions et de rééquilibrations ne venaient brouiller le message en juxtaposant dans un même échantillon des paragenèses contradictoires.

Il faut par ailleurs souligner que la texture des laves (taille du grain de la mésostase, distribution des cristaux, développement de figures de rééquilibration) n'est pas un critère de distinction entre volcans car il dépend de l'histoire du refroidissement de l'échantillon pendant et après l'éruption dont il est issu. En revanche, ce critère donnera des indications, pour un échantillon d'un volcan particulier, par exemple sur sa provenance plus ou moins interne au sein du dôme.

Toutes les observations sont rassemblées dans le tableau 3 de l'annexe 3. Les éléments discriminants sont présentés ci-dessous et illustrés par les photos de lames minces correspondantes (Fig 14 à 19, pages suivantes).

Volcan	Phénocristaux						Mésostase	
	Plagio	Na Sanidine	Cpx	Amphibole	Biotite	Autre	Cpx	Mica
Aumône/Petit Suchet	X peu déstabilisé		X incolore / vert jaune	X			X	
Cliersou	X un peu déstabilisé		X incolore	X			X	
Kilian	X déstabilisé			X	X		X	
Sarcoui	X peu déstabilisé				X			X
PdD	X peu déstabilisé	X	X vert		X	zircon	X	
Chopine	X	X	X vert		X	sphène	X	

Echelle = 10 mm



Echelle = 1 mm

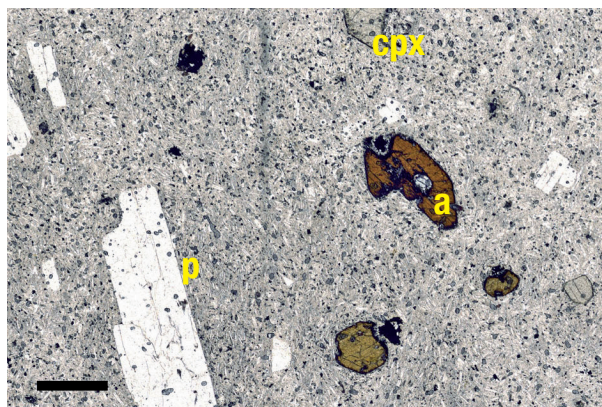


Figure 14. Trachyte du puy de l'Aumône. Échantillon BPS1.

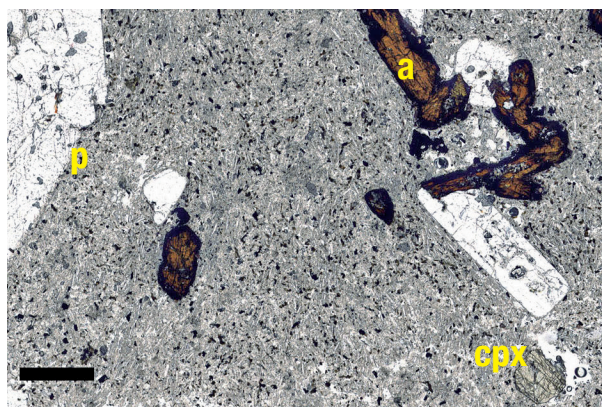
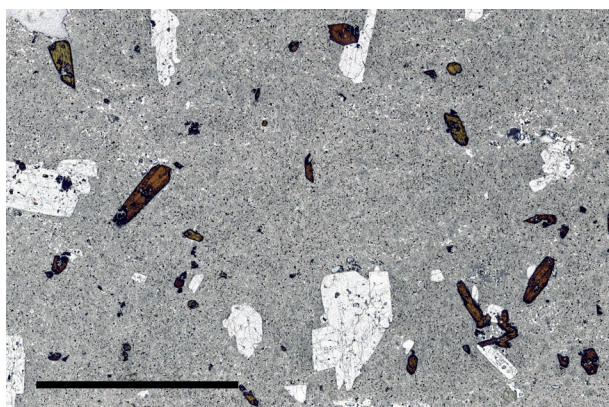


Figure 15. Trachyte du puy de Clersou. Échantillon BPCNO5.

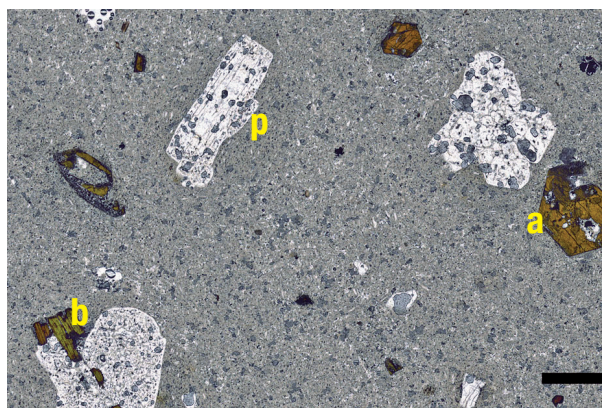
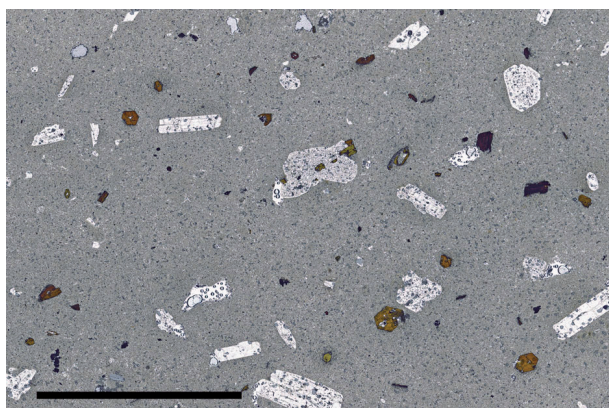


Figure 16. Trachyte du Kilian. Échantillon BPK5.

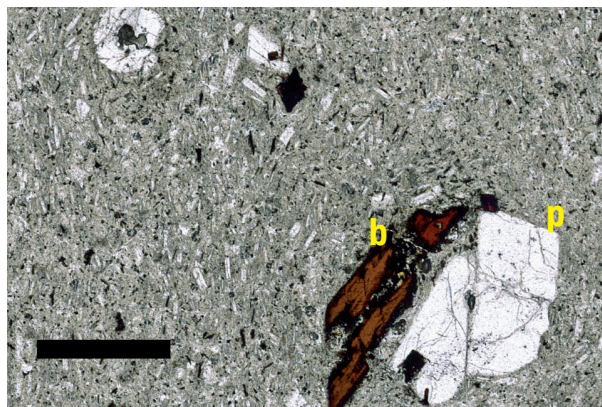
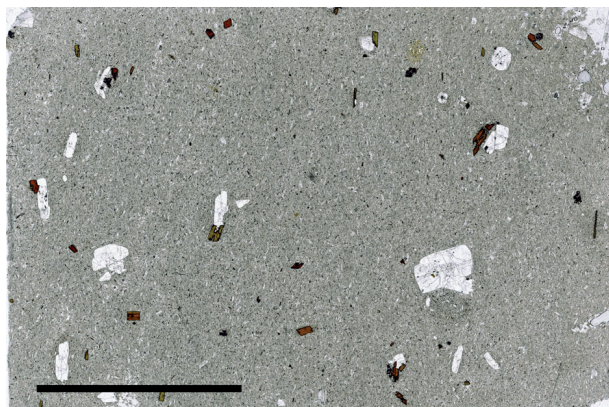


Figure 17. Trachyte du Sarcoui. Échantillon C685.

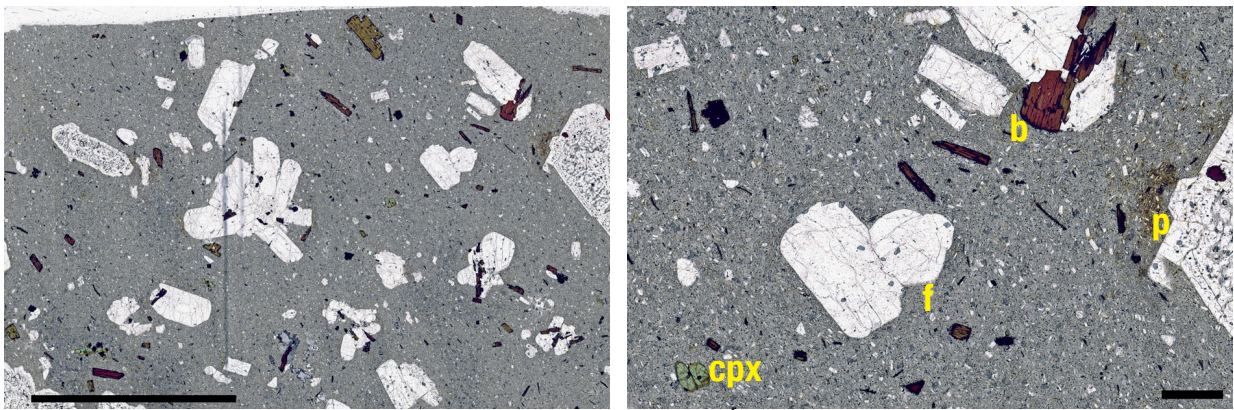


Figure 18. Trachyte du puy de Dôme, faciès à clinopyroxène vert. Échantillon C549.

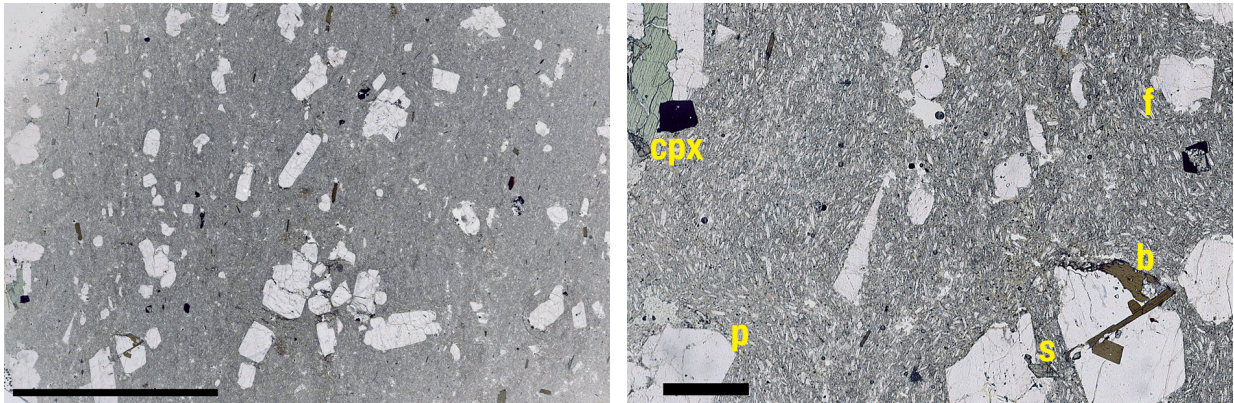


Figure 19. Trachyte du puy Chopine. Échantillon Chopine 1.

Légende commune : p = plagioclase ; f = feldspath alcalin ; a = amphibole ; cpx = clinopyroxène ; b = biotite ; s = sphène.

3-3-1-2. Trachytes des objets archéologiques

Tous les objets archéologiques étudiés dans le cadre de ce travail, y compris l'échantillon de Montaudou et à deux exceptions près (chaperon de mur trouvé dans les fouilles du col de Ceysat - point 15 - et un des moellons de la maison à l'ouest du col, le long de la voie romaine - point 9 Trément *et al.*, 2003), présentent le même faciès de trachyte : des phénocristaux de plagioclase très souvent déstabilisés accompagnés de cristaux de biotite et d'amphibole systématiquement transformés en assemblages de microcristaux d'oxydes, de clinopyroxène et de feldspaths (fig 20). Les reliques

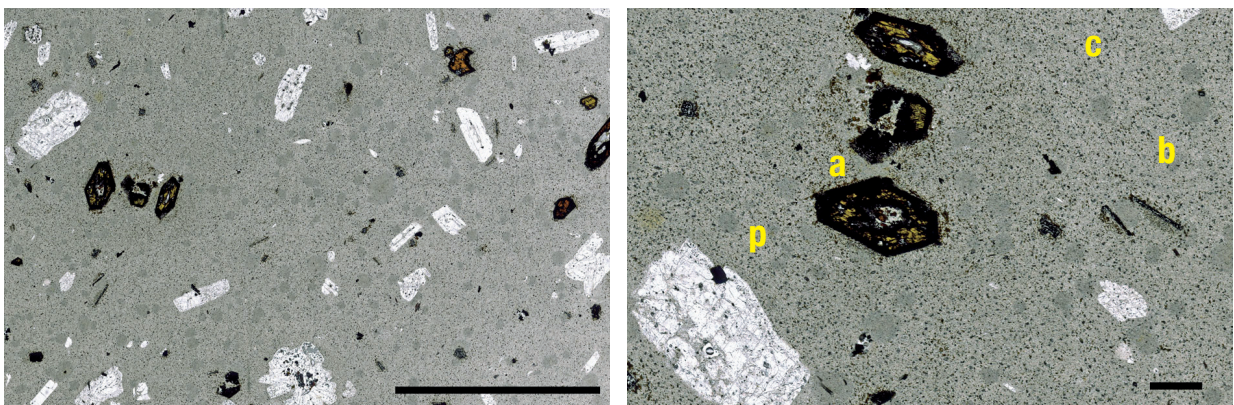


Figure 20. Bloc de grand appareil. Emmarchement SE du temple de Mercure. Échantillon C705. Même légende que figures précédentes avec en outre : c = cristobalite.

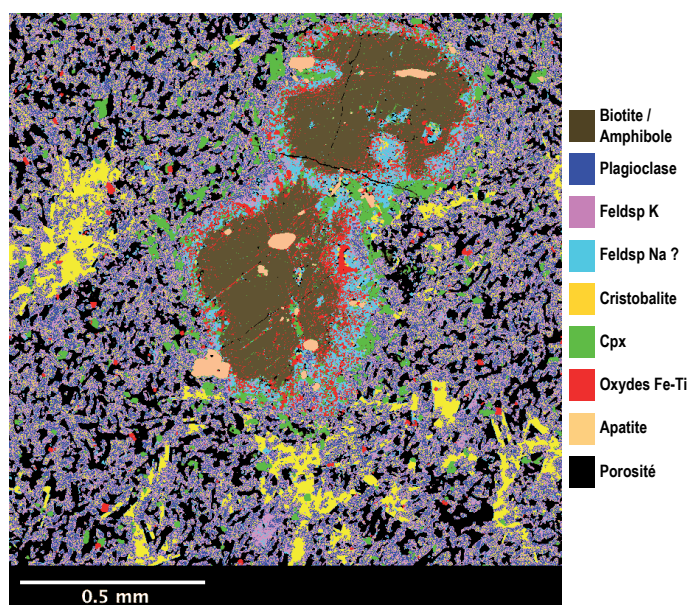


Figure 21. Amphibole destabilisée. Image de corrélation des cartes de répartition des éléments K-Ca-Fe-Si. Échantillon BPG5, maison située en bordure de la voie romaine (point 9).

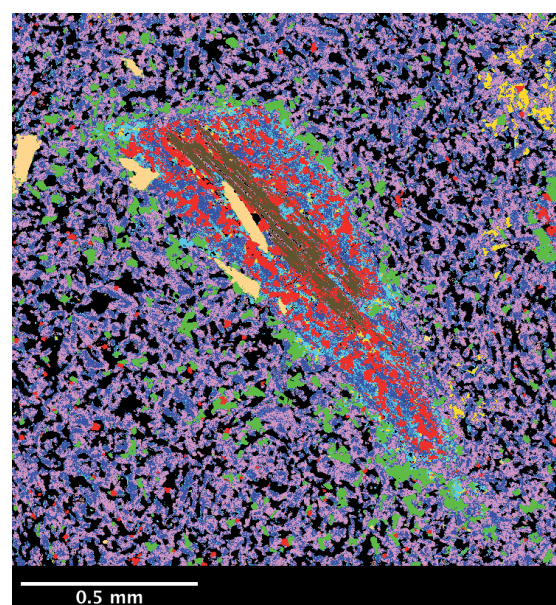


Figure 22. Biotite destabilisée Image de corrélation des cartes de répartition des éléments K-Ca-Fe-Si. Échantillon BPG5, maison située en bordure de la voie romaine (point 9).

d'amphibole (fig 21) sont fréquentes au centre des amas de déstabilisation, par contre celles de biotite (fig 22) sont beaucoup plus rares et difficiles à voir (seule la forme de l'amas, fantôme du cristal d'origine peut être utilisée comme critère de reconnaissance). La pâte de ce trachyte est fine (30-100µm) et contient des sphérules siliceuses de diamètres 0,2 à 0,8 mm, très régulièrement dispersées (fig 23-24). Une mesure préliminaire en microspectrométrie RAMAN (fig 25) a révélé que la partie siliceuse de ces sphérules est vraisemblablement de la cristobalite (silice cristallisée à haute température). Il faut souligner que cette caractéristique est, dans l'état actuel des connaissances, complètement originale et inconnue à l'affleurement dans la Chaîne des Puys. En

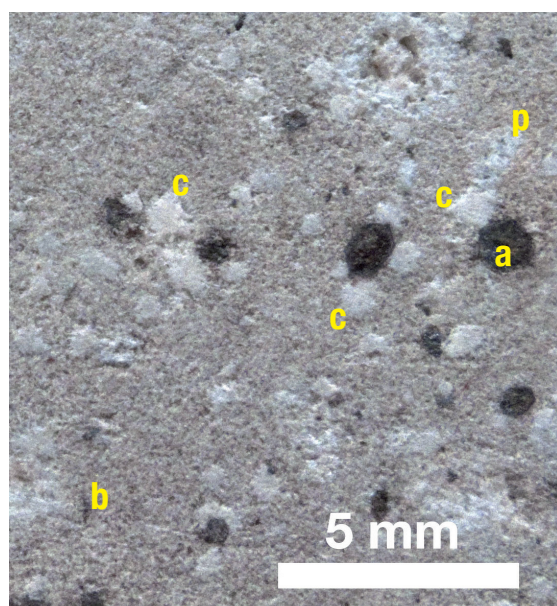


Figure 23. Macrophoto d'une section du trachyte utilisé pour l'embarquement du temple de Mercure (éch. C705), montrant de nombreuses sphères de cristobalite (c) dans la pâte de la roche. Phénocristaux : (a) amphibole, (b) biotite, (p) plagioclase.

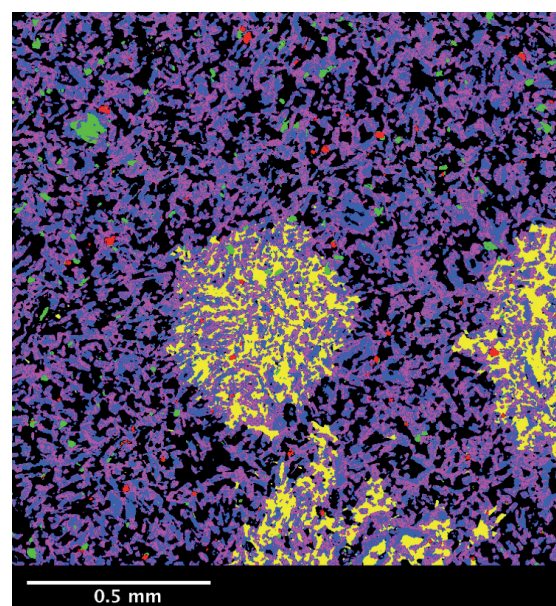


Figure 24. Sphères de cristobalite imprégnant la mésostase. Image de corrélation des cartes de répartition des éléments K-Ca-Fe-Si. Même légende que les figures 21-22. Échantillon PB07-0510-01, éclat de taille, temple de Mercure. Tranchée de reconnaissance n°32.

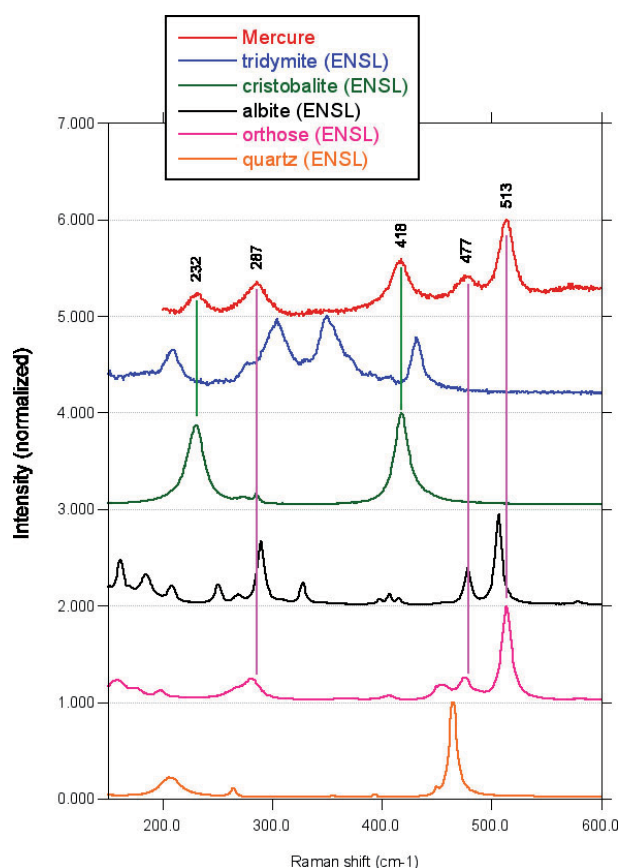


Figure 25. Spectre RAMAN d'une sphère de silice (Mercure), comparé à des spectres de références des minéraux de la silice (tridymite, cristobalite et quartz) et des feldspaths (albite, orthose). La sphère est un mélange de feldspaths alcalins (les microlites visibles sur la fig 24) et de cristobalite. Échantillon BPM1, bloc de grand appareil à l'extérieur du temple de Mercure.

revanche, elle a été retrouvée à l'identique dans de nombreux déchets de taille récoltés dans le sondage S1, au fond du cratère Kilian.

L'échantillon du chaperon de mur est taillé dans un trachyte différent (fig 26). Les grands cristaux de plagioclase sont limpides pour la plupart et ils sont accompagnés de Na-sanidine, de grandes lames de biotite intactes et de nombreux cristaux verts de clinopyroxène. La mésostase ne montre aucun amas de silice particulier.

L'échantillon de moellon PB10-3004-1 correspond non pas à un trachyte massif, mais à une brèche polygénique soudée à éléments de trachyte à amphibole et biotite (type Kilian) et de granite

(fig 27). Ce type de faciès est actuellement inconnu dans la Chaîne des Puys.

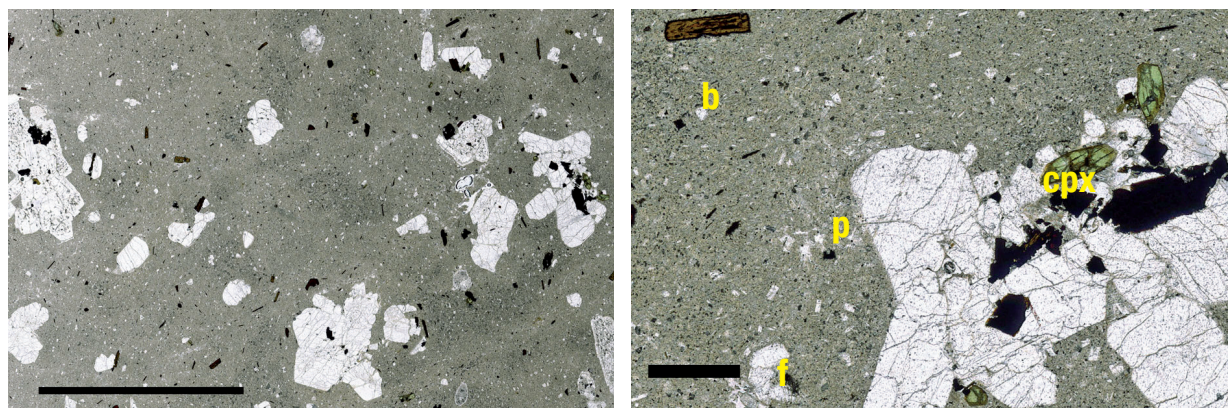


Figure 26. Chaperon. Échantillon PB Aub1. Même légende que la figure 18.

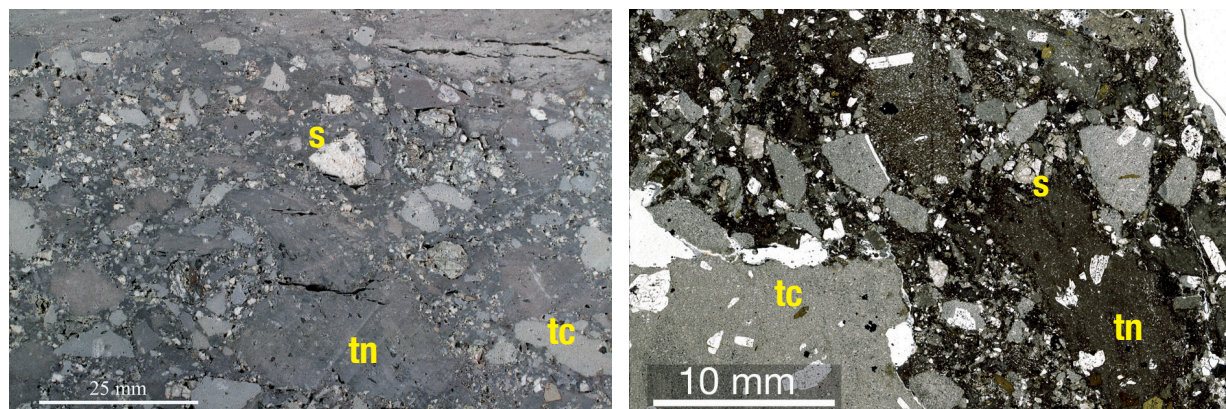


Figure 27. Brèche à éléments de trachyte clair (tc) ou sombre (tn) et de socle (s). Moellon de petit appareil (éch PB10-3004-1), maison située en bordure de la voie romaine, à l'ouest du col de Ceyssat (point 9).

Le tableau ci-après récapitule les éléments discriminants relevés dans les trachytes des objets archéologiques :

Objets	Phénocristaux				Mésostase	
	Plagio	Cpx	Amphibole	Biotite	Cpx	sphère de silice
Moellon	X destabilisé		X destabilisé	X destabilisé	X	X
Anguipède	X destabilisé		X destabilisé	X destabilisé	X	X
Kilian déblais	X destabilisé		X destabilisé	X destabilisé	X	X
Chaperon	X* peu destabilisé	X vert		X destabilisé	X	

* accompagné de Na-Sanidine

3-3-2. Analyses géochimiques en roche totale

Nous disposons de 92 analyses des éléments majeurs sur roches totales, dont 29 nouvelles réalisées dans le cadre de ce travail et portant essentiellement sur les objets archéologiques (moellons, anguipède et déchets de taille issus des remblais du cratère Kilian).

Les trachytes de la Chaîne des Puys sont les termes ultimes d'un processus de cristallisation fractionnée qui, à partir d'un magma basaltique, a donné toute la variété des laves de la Chaîne. De ce fait, leur composition n'est pas quelconque et l'on observe globalement une variation linéaire de la teneur en n'importe quel élément majeur rapporté, par exemple, à la silice. Toutefois les mélanges de magmas, inclusions et rééquilibrations évoqués plus haut provoquent une dispersion sensible des compositions mesurées (fig 28) aussi pour comparer les trachytes prélevés sur les volcans avec ceux des objets archéologiques, nous utiliserons leur moyenne et leur écart-type.

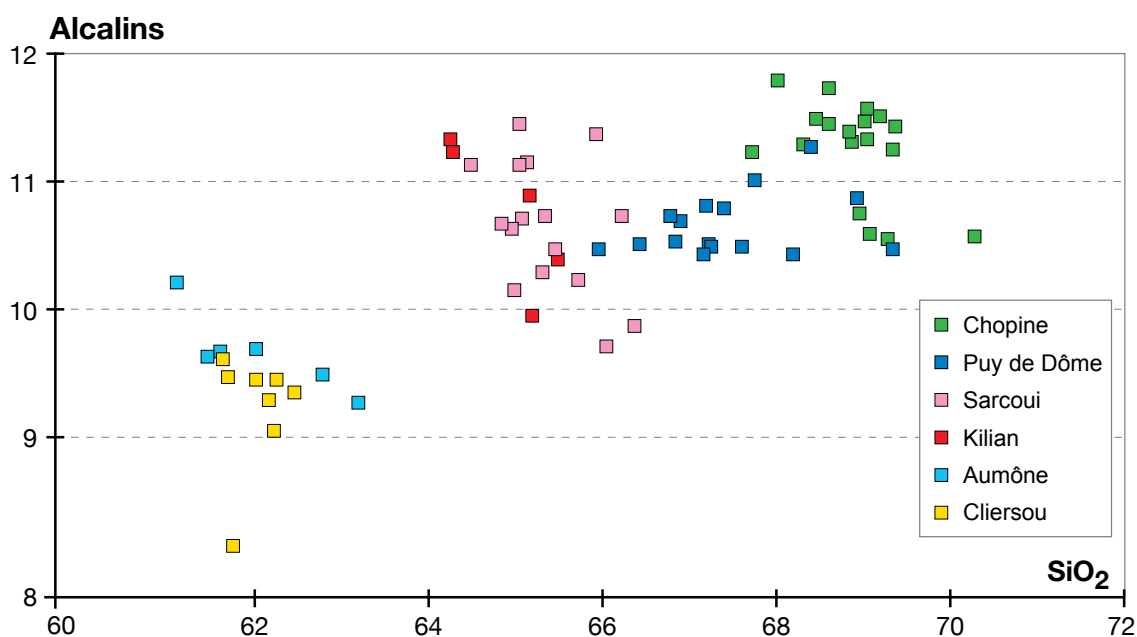


Figure 28. Diagramme Total des alcalins en fonction du % de la silice. Laves des principaux volcans trachytiques de la Chaîne des Puys.

3-3-2-1. Diagramme Alcalins-Silice

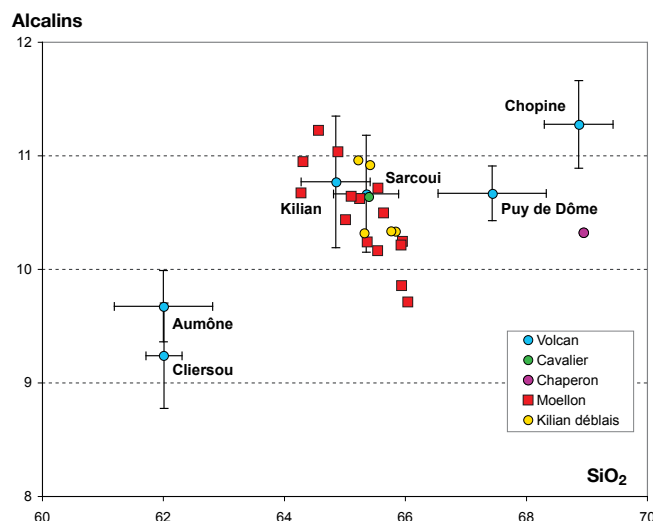


Figure 29. Comparaison des teneurs en Alcalins - Silice des objets archéologiques avec celles des principaux trachytes de la Chaîne des Puys.

Ce premier diagramme (fig 29) classe les trachytes selon leur degré d'évolution : plus ils sont siliceux, plus ils sont différenciés. Dans les barres d'erreur, Cliersou et Aumône sont indistinguables comme Kilian et Sarcoui. Par contre Puy de Dôme et Chopine sont bien individualisés. Sur ce diagramme tous les objets archéologiques, hormis le chaperon, se regroupent étroitement autour du couple Kilian-Sarcoui. Le nuage de points correspondant montre un étirement qui matérialise un appauvrissement en alcalins et un enrichissement en silice qui est probablement la traduction chimique du développement des

petites sphères de silice dans la mésostase de ces trachytes utilisés comme matériau.

Le chaperon a un comportement complètement différent : riche en silice, il est proche à la fois du Puy de Dôme et du Chopine.

3-3-2-2. Diagramme Fe₂O₃-K₂O

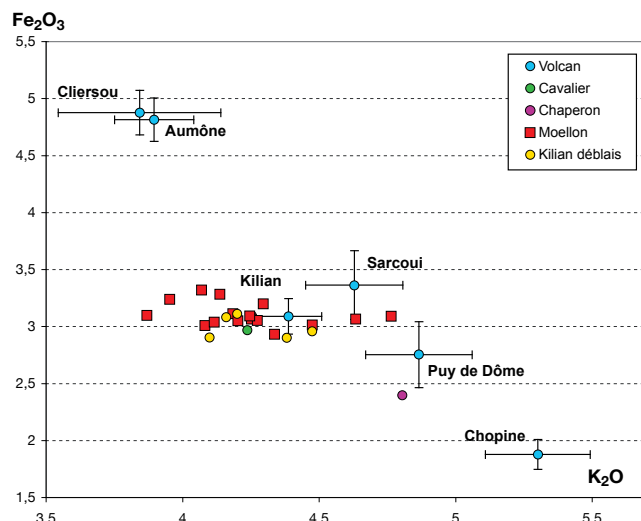


Figure 30. Comparaison des teneurs en Oxyde de fer - Silice des objets archéologiques avec celles des principaux trachytes de la Chaîne des Puys.

Dans ce diagramme (fig 30), la potasse a un comportement analogue à celui de la silice vu précédemment. Sa teneur augmente avec la différenciation tandis que l'oxyde de fer diminue. Ces éléments permettent de séparer assez nettement le trachyte du Kilian de celui du Sarcoui. Ce dernier est plus riche en K₂O comme le laissait prévoir sa plus grande richesse en mica potassique (biotite). Pas plus que le diagramme Alcalins-Silice, celui-ci ne distingue le trachyte du Cliersou de celui de l'Aumône.

Ce diagramme montre à son tour, la corrélation élevée et exclusive qui existe

entre le matériau des objets archéologiques et le trachyte du Kilian. Dans le premier, l'élément fer, peu mobile à la différence des alcalins (K et Na), présente des teneurs strictement comparables à celles du trachyte du Kilian. Le chaperon est ici plus proche du Puy de Dôme que du Chopine.

3-3-3. Analyses géochimiques ponctuelles (microsonde électronique)

Les différentes laves de la Chaîne des Puys, dont les trachytes, sont, comme il l'a été dit, le résultat d'une différenciation par cristallisation fractionnée. Dans le cadre de ce processus, la nature et la composition des minéraux présents dans les roches reflètent la nature de celles-ci. Ceci est clairement illustré par le tableau des paragenèses présenté ci-dessus et le tableau 3 de l'annexe 3 qui montrent que les associations de minéraux présents ne sont pas les mêmes d'un trachyte à l'autre. L'analyse chimique de ces minéraux permet l'étude statistique de ces corrélations. Environ 1000 analyses nouvelles ont été réalisées dans le cadre de ce travail auxquelles s'ajoutent environ 500 analyses tirées de travaux antérieurs. Elles ont été obtenues à l'aide de la microsonde électronique du Laboratoire Magmas et Volcans (tension 15keV, intensité 15nA, comptage 10 secondes, diamètre de spot 1 μ m) en analysant par échantillon au moins 5 cristaux de chaque type et pour chaque cristal au moins 3 zones : cœur, intermédiaire et bord. Ce protocole permet d'échantillonner toute la gamme des compositions présentée par chaque type de minéral (les minéraux sont systématiquement zonés en composition).

La visualisation d'un nombre aussi important d'analyses ne peut se faire sous forme de nuages de points ; elles seront donc représentées dans les diagrammes ci-dessous par leurs moyennes avec les écart-types comme barres d'erreur.

Dans un premier temps, les corrélations entre échantillons ont été systématiquement testées à l'aide du test t de Fisher pour des échantillons indépendants avec un niveau de confiance > 95%. Ceci a permis de constater que les échantillons provenant du même volcan ou du même type d'objet archéologique étaient indistinguables entre eux ce qui nous a autorisé à les regrouper selon chacun des ensembles suivants :

- Aumône, Cliersou, Kilian, Sarcoui, Puy de Dôme, Chopine,
- Kilian déblais et Moellons.

De par leur nature particulière, le cavalier à l'anguipède et le chaperon n'ont pas été intégrés à ces groupes.

Dans un deuxième temps, les comparaisons à l'aide du test t de Fisher ont été refaites entre ces groupes alors considérés comme homogènes ce qui autorise alors à les représenter par leur moyenne et leur écart-type. Les résultats de ces tests nous serviront d'arguments pour les rapprochements proposés.

3-3-3-1. Analyses des phénocristaux de feldspath

Les trois éléments chimiques Ca-Na-K servent fondamentalement à caractériser les feldspaths. Ils sont généralement exprimés sous forme de pôles feldspathiques purs : Anorthite (feldspath purement calcique), Albite (Na) et Orthose (K) dont la somme est ramenée à 100. Les résultats sont présentés dans un diagramme où l'abscisse varie de Ab (0) à Or (100) et l'ordonnée de Ab (0) à An (100) (fig 31).

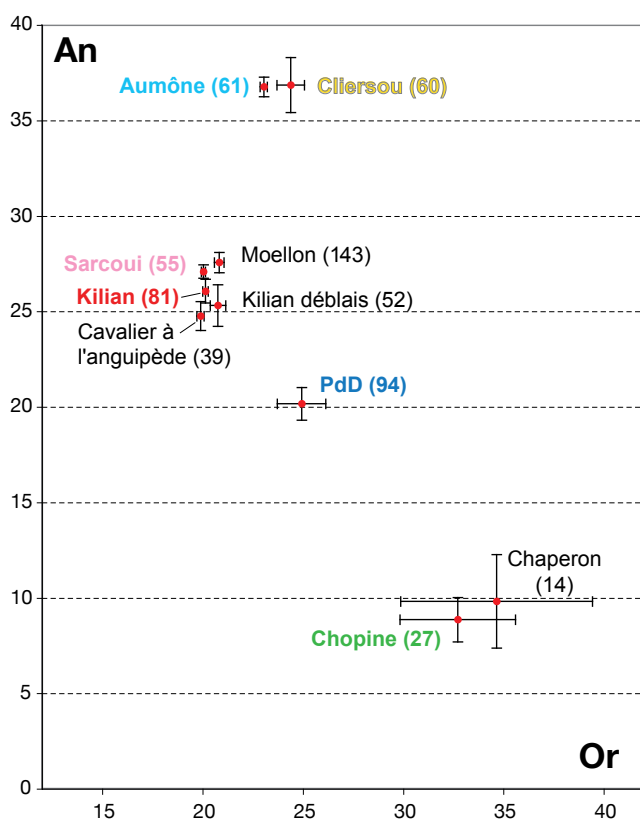


Figure 31. Composition des phénocristaux de feldspaths des trachytes de la Chaîne des Puys et des objets archéologiques étudiés. Les valeurs indiquées représentent l'effectif de chaque groupe d'échantillons.

Cette figure montre que les feldspaths portent le même type d'information que le diagramme Alcalins-Silice pour les compositions des roches totales, ce qui est en total cohérence. Aumône et Cliersou sont indistinguables, de même que Kilian et Sarcoui ; au contraire, Puy-de-Dôme et Chopine sont à l'écart. La confrontation des données acquises sur les objets archéologiques avec celles des volcans, démontre sans ambiguïté que moellons et cavalier à l'anguipède sont indistinguables du groupe Kilian-Sarcoui et que seul, le chaperon se rapproche du Chopine.

3-3-3-2. Analyses des phénocristaux d'amphibole

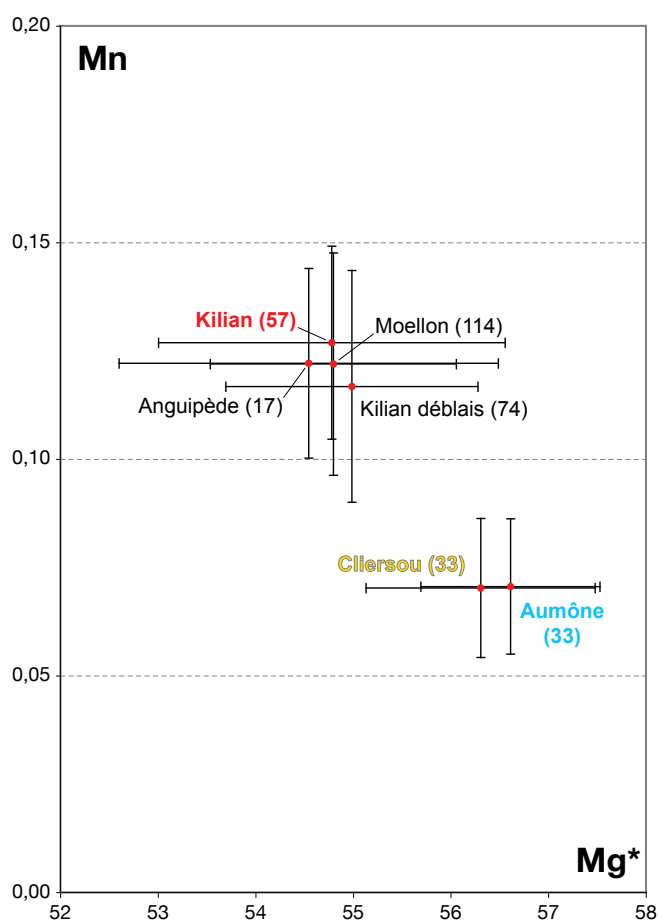


Figure 32. Composition des phénocristaux d'amphibole des trachytes de la Chaîne des Puys et des objets archéologiques.

Ce minéral est un ferro-magnésien qui s'enrichit en fer lorsque la différenciation de la roche augmente (le rapport $Mg^* = Mg / (Fe + Mg)$ diminue). Dans les trachytes, le comportement du manganèse se découple de celui du fer et devient un élément discriminant qui augmente rapidement avec le degré de différenciation. Ces deux paramètres sont donc de bons indices pour séparer les amphiboles des divers trachytes où ce minéral est présent. Le diagramme correspondant (fig 32) montre la quasi identité des amphiboles des trachytes du Cliersou et de l'Aumône d'une part et de celles du Kilian et des objets archéologiques d'autre part. Les deux regroupements ainsi définis sont significativement différents. D'autres éléments, comme Al et Ti conduisent aux mêmes conclusions.

3-3-3-3. Analyses des cristaux de clinopyroxène

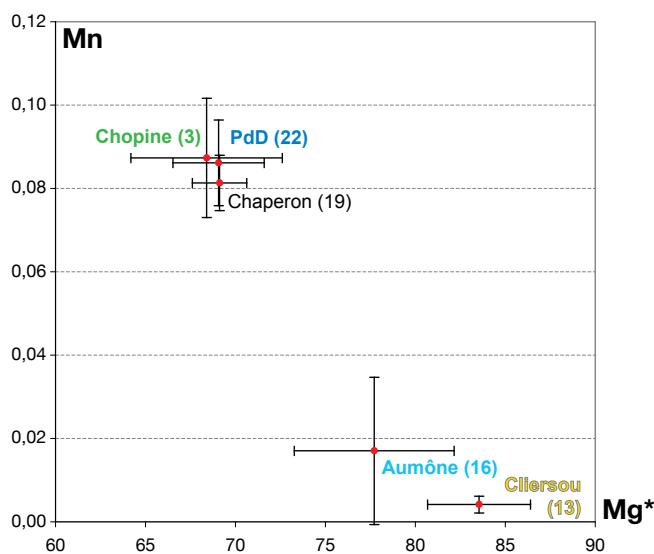


Figure 33. Composition des phénocristaux de clinopyroxène des trachytes de la Chaîne des Puys et des objets archéologiques.

Le clinopyroxène présente un comportement analogue à celui de l'amphibole pour le manganèse et le paramètre Mg^* . Le diagramme (fig 33) qui rassemble les mesures sur les phénocristaux de clinopyroxène montre deux ensembles bien séparés : d'une part le groupe du Cliersou et de l'Aumône, d'autre part celui du Chopine et du Puy de Dôme. Ces deux ensembles coïncident exactement avec leurs couleurs, respectivement incolore-beige et vert. Le clinopyroxène vert trouvé en abondance dans le trachyte du chaperon est indistinguable de ceux du Chopine ou du puy de Dôme.

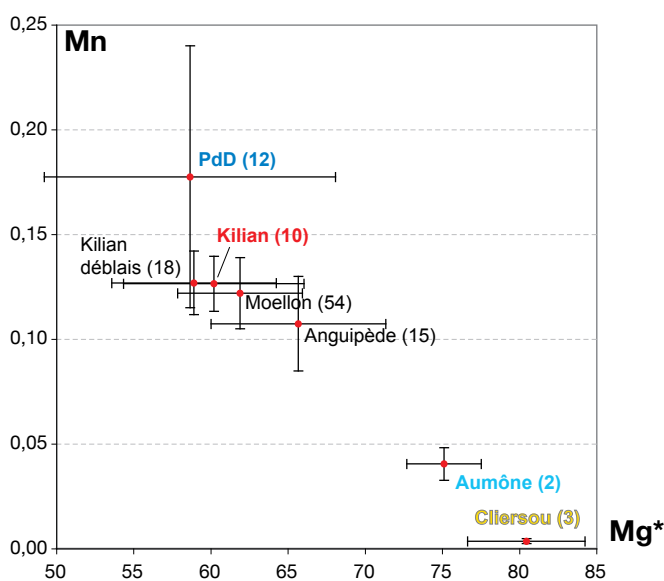


Figure 34. Composition des microlites de clinopyroxène des trachytes de la Chaîne des Puys et des objets archéologiques.

Le clinopyroxène apparaît par ailleurs dans presque tous les trachytes de la Chaîne des Puys sous forme de petits cristaux dans la mésostase et dans les auréoles de déstabilisation de l'amphibole et de la biotite. Leur composition varie beaucoup d'un point à l'autre de la lave et le nombre d'analyse est faible dans certains échantillons. Toutefois une logique se dégage du diagramme Mn versus Mg^* (fig 34) qui montre une nette séparation entre le groupe Cliersou et Aumône et celui du Kilian et objets archéologiques. Le puy de Dôme se rapproche du groupe Kilian à cause de barres d'erreur très importantes.

3-3-3-4. Analyses des phénocristaux de biotite

Comme les autres minéraux ferro-magnésiens des trachytes, ce minéral reflète la composition de sa lave hôte. Cependant il présente une grande sensibilité aux rééquilibrations tardi- et post-magmatiques ce qui a pour premier effet d'augmenter la dispersion des analyses et donc de les rendre moins discriminantes que celles d'amphibole ou de clinopyroxène. Un second effet est particulièrement sensible dans les objets archéologiques qui sont faits d'un trachyte fortement affecté par ces transformations : il est très difficile d'y trouver des phénocristaux de biotite présentant des plages à peu près intactes. Dès lors, le faible nombre d'analyses obtenues augmente les barres d'incertitude sur les moyennes et ces dernières ne représentent probablement plus les compositions

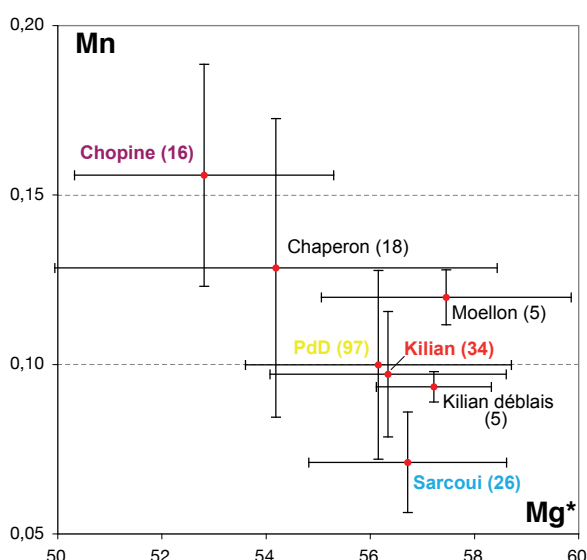


Figure 35. Composition des phénocristaux de biotite des trachytes de la Chaîne des Puy et des objets archéologiques.

primaires. La comparaison des compositions des phénocristaux de biotite dans le diagramme Mg^*/Mn (fig 35) montre que ce minéral permet de séparer le Chopine et le Sarcoui d'un ensemble Kilian - puy de Dôme indistinguable. Si les déblais du Kilian se rattachent également à ce dernier groupe, les autres objets archéologiques (moellons et chaperon) ne se distinguent que du seul Sarcoui.

3-4. Compilation et discussion des analyses

Grâce à la base de donnée d'analyses chimiques rassemblé au cours de ce travail : 92 (dont 29 nouvelles) analyses d'éléments majeurs sur roches totales et 1342 analyses à la microsonde électronique sur minéraux (626 feldspaths, 328 amphiboles, 187 clinopyroxènes et 201 biotites) et à son analyse statistique, il est maintenant possible de définir pour chacun des critères mesurés la valeur du trachyte moyen typique de chaque volcan étudié. Seuls le Cliersou et l'Aumône, sur la base de notre échantillonnage, restent encore indistinguables l'un de l'autre.

Par une approche comparable, les objets archéologiques étudiés peuvent à leur tour être assez facilement rattachés à un édifice. Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de 293 t-tests, en orange (respectivement bleu-vert) les couples indistinguables (respectivement différents) avec une probabilité de 95%.

	Aumône	Cliersou	Sarcoui	Kilian	Kilian déblais	Moellon	Cavalier	PdD	Chopine
Aumône	Orange	Orange	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert
Cliersou	Orange	Orange	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert
Sarcoui	Bleu-vert	Bleu-vert	Orange	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert
Kilian	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Orange	Orange	Orange	Orange	Bleu-vert	Bleu-vert
Kilian déblais	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Orange	Orange	Orange	Orange	Bleu-vert	Bleu-vert
Moellon	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Orange	Orange	Orange	Orange	Bleu-vert	Bleu-vert
Cavalier	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Orange	Orange	Orange	Orange	Bleu-vert	Bleu-vert
PdD	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Orange	Bleu-vert
Chopine	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Bleu-vert	Orange

Au vu de tous ces résultats pétrographiques et géochimiques, il est maintenant acquis que tous les blocs monumentaux du temple de Mercure, les moellons de petit appareil gallo-romains du col de Ceyssat et des bâtiments jalonnant la voie Agrippa en contrebas ainsi que la statue du cavalier à l'anguipède trouvé à Riom **ne proviennent pas** du Cliersou et de l'Aumône mais se rattachent à un faciès particulier du trachyte du Kilian.

Le chaperon trouvé au col de Ceyssat est différent. Il présente des caractères intermédiaires entre le trachyte du puy de Dôme et celui du Chopine. Seule l'absence de sphène permet de l'attribuer plutôt au puy de Dôme et plus particulièrement à un faciès évolué de son trachyte.

4. Analyses mécaniques des trachytes

Un travail de recherche a été réalisé sur la qualité des trachytes en tant que matériau de construction. Sous la responsabilité de J.C. Besson (LMV), des étudiants du Master Professionnel « Géologie de l'Aménagement » de l'UBP (E. Auzanneau et V. Héritier) ont caractérisé les propriétés physiques des trachytes et recherché une logique dans les choix effectués tant par les gallo-romains que par les fabricants de sarcophages du haut Moyen Âge. Il est ainsi possible de tester d'une façon argumentée l'impression que les sarcophages ont été réalisés avec un trachyte plus tendre que celui utilisé par les gallo-romains ; ce trachyte plus tendre étant accessible à la périphérie des dômes et dans les parties hautes du cratère Kilian.

4-1. Échantillonnage

L'échantillonnage a porté sur les trachytes du puy Chopine, du puy de Dôme, du Cliersou, du Kilian, sur des blocs récoltés dans les fouilles réalisées dans le cratère Kilian (carrières mérovingiennes, talus de déblais) et sur des moellons de petit appareil d'un bâtiment gallo-romain en bordure de la *via Agrippa* à l'ouest du col de Ceyssat (point 9). Le Sarcoui a seulement fait l'objet de mesures *in-situ* au scléromètre non rapportées ici. Aucun échantillon n'a été prélevé sur les blocs de grand appareil du temple de Mercure à cause de la quantité de matière requise importante.

Les échantillons ont été sciés en parallélépipèdes d'environ 8,0 cm x 4,0 cm x 4,0 cm puis séchés au moins 48 heures dans une étuve à 110°C. Sur certains parallélépipèdes ont été mesuré la vitesse de propagation des ultrasons, la résistance à la compression et la densité. D'autres ont été immergés pendant une nuit pour les saturées en eau. Des mesures de vitesse de propagation des ultrasons, de densité et de résistance à la compression ont été effectuées sur ces échantillons saturés.

4-2. Méthodes mises en œuvre

Les trachytes étudiés ont fait l'objet de différents essais en laboratoire ou *in-situ* détaillés dans le mémoire de E. Auzanneau et V. Héritier (2010). Seuls, les principaux résultats sont rapportés ici.

4-2-1. Détermination de la masse volumique

Les masses volumiques ont été déterminées à la balance hydrostatique.

4-2-2. Mesure de la vitesse de propagation des ultrasons

Des ultrasons produits par un émetteur sont envoyés à la surface d'un échantillon dans lequel ils se propagent. Le temps de transit entre le point d'entrée et un point de sortie est mesuré au moyen d'un récepteur. Connaissant le temps de transit et la distance entre l'émetteur et le récepteur, on détermine la vitesse de propagation des ultrasons. Celle-ci permet ensuite d'estimer soit la masse volumique soit les modules de compression ou de cisaillement dynamiques.

4-2-3. Mesure de la résistance à la compression simple

Cet essai est réalisé selon la norme NF P 94 077. Il s'effectue sur un échantillon placé entre les deux plateaux d'une presse. On impose à l'éprouvette une vitesse constante de compression et la contrainte maximale est enregistrée au moment de sa rupture.

4-3. Résultats

Pour faciliter les comparaisons, les résultats des mesures des divers paramètres sont représentés par rapport à la masse volumique des échantillons.

La gamme des masses volumiques observées est très large de 1350 à presque 2200 kg/m³. Ceci ne peut pas s'expliquer par des différences de compositions des roches, même si les trachytes les plus siliceux, puy de Dôme et Chopine, sont aussi les plus denses. Seules, les variations de porosité sont à même d'expliquer la gamme des masses volumiques mesurées : plus les trachyte sont poreux, moins ils sont denses.

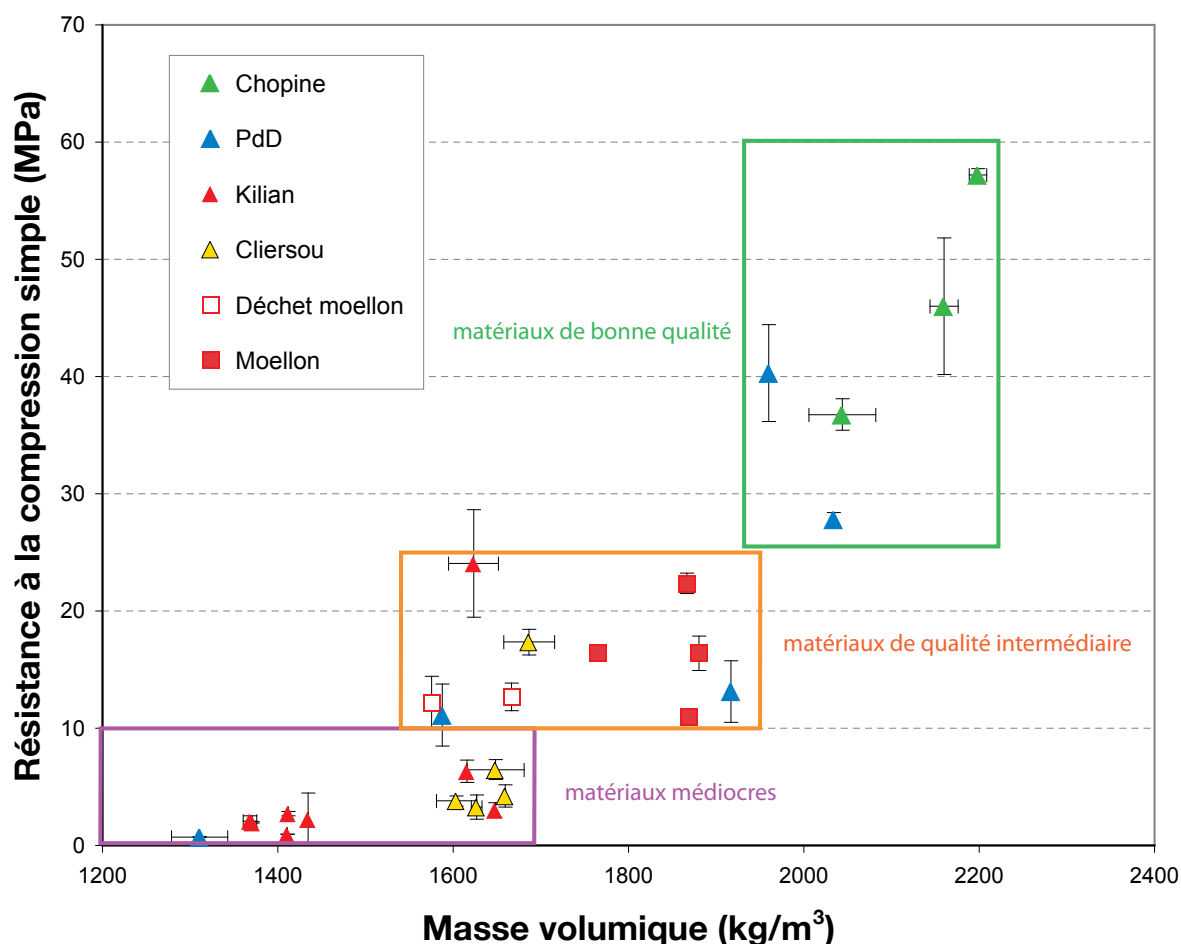


Figure 36. Variation de la résistance à la compression de divers trachytes en fonction de leur masse volumique.

La résistance à la compression statique (fig 36) est, au premier ordre, positivement corrélée à la masse volumique (et par extension inversement corrélée à la porosité). On en conclut que la porosité diminue la résistance de l'échantillon. La grande dispersion des valeurs mesurées sur le puy de Dôme, par exemple, reflète directement la nature très variée des échantillons collectés, de cendreaux et poreux à compacts et denses.

La vitesse de propagation des ultrasons est positivement corrélée à la masse volumique (fig 37) et donc à la résistance à la compression statique et inversement liée à la porosité.

L'ensemble de ces corrélations est donc essentiellement lié à un seul paramètre : la porosité. Plus un matériau est dense, moins la porosité est importante et plus la vitesse de propagation est élevée. Cependant quelques échantillons - le faciès « trempé » du Kilian et l'échantillon C3 du Cliersou, ne suivent pas tout à fait cette loi. Un examen détaillé de leur texture pourrait peut-être expliquer ces écarts.

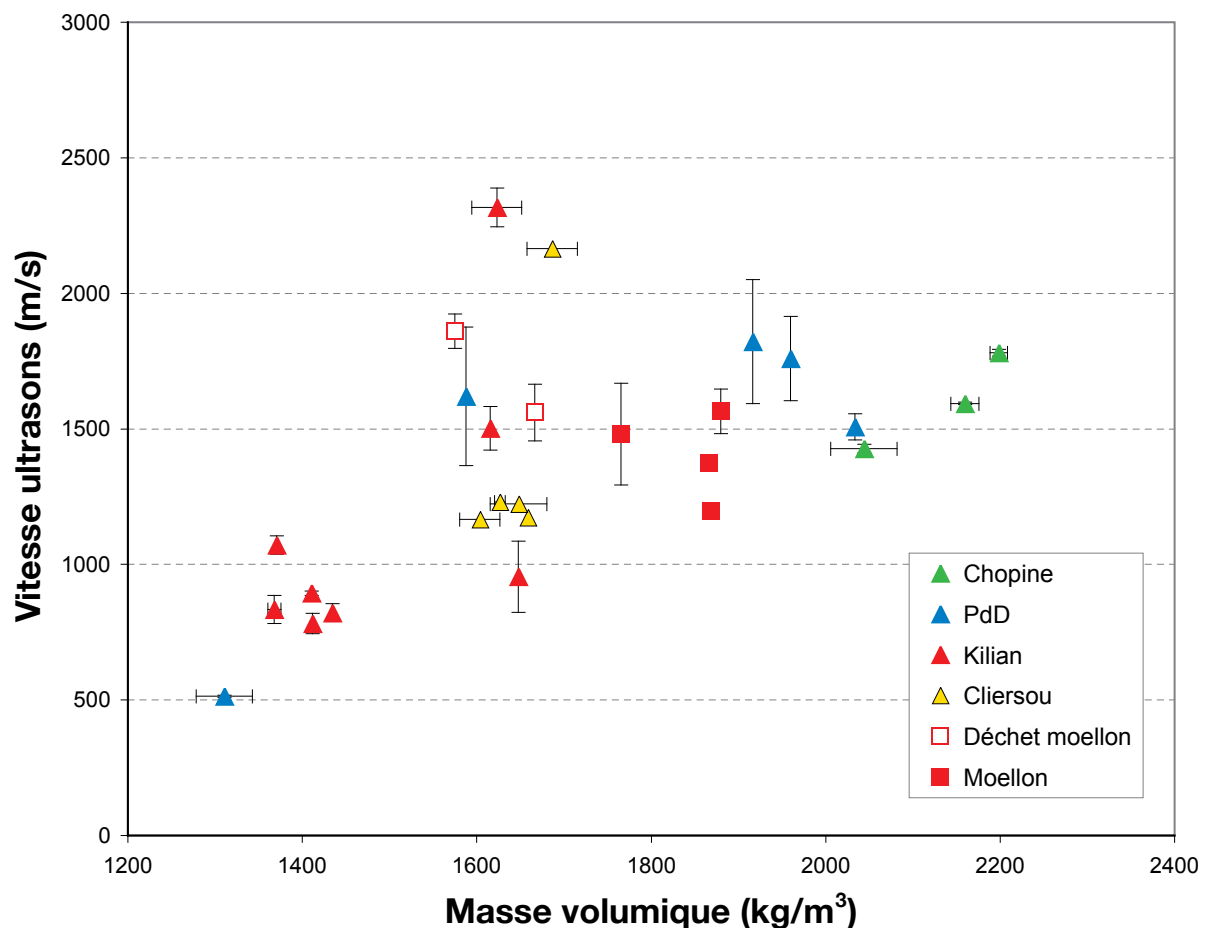


Figure 37. Variation de la vitesse des ultrasons de divers trachytes en fonction de leur masse volumique.

4-4. Synthèse des caractéristiques physiques des trachytes étudiés

4-4-1. Trois groupes de trachytes

D'après les résultats et les caractéristiques des moellons, les trachytes de la Chaîne des Puys peuvent être classés suivant trois groupes :

Matériaux à faible résistance mécanique ($R_c < 10$ MPa). Ces matériaux sont peu denses ($\rho < 1660$ kg/m³). Ce groupe correspond aux échantillons du Cliersou et aux faciès cendreaux du Kilian et du Puy de Dôme.

Matériaux à caractéristiques intermédiaires ($10 \text{ MPa} < R_c < 25$ MPa). La masse volumique est comprise entre 1600 et 1900 kg/m³. Cette catégorie comprend les blocs du

faciès à sphérules siliceuses du Kilian, les moellons de constructions gallo-romains et certains échantillons du Puy de Dôme.

Matériaux ayant de très bonnes caractéristiques ($R_c > 25$ MPa). Leur masse volumique est comprise entre 2000 et 2200 kg/m³. Ces matériaux regroupent les trachytes du Puy Chopine et le faciès compact du Puy de Dôme.

L'échantillonnage plus varié du Puy de Dôme permet de mettre en évidence la large hétérogénéité des édifices trachytiques (la gaine bréchique, trachyte cendreux et trachyte compact). Les échantillons du Kilian démontrent aussi une hétérogénéité dans le corps de l'édifice, qui est liée au mode de mise en place des volcans trachytiques.

4-4-2. Les moellons gallo-romains

La comparaison des caractéristiques des moellons et du trachyte à sphérules siliceuses prélevés dans le cratère du Kilian ne constitue pas un argument incontestable pour les rapprocher car des dissemblances apparaissent. Par rapport aux moellons, les échantillons étudiés se caractérisent par :

des densités plus faibles

une porosité plus élevée

des vitesses de propagation plus élevées

une résistance à la compression plus faible

Le tableau ci contre compare les valeurs moyennes des caractéristiques des blocs de construction et des trachytes à sphérules siliceuses.

Type	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	R_c (MPa)
Moellons	1846 ± 40	1403 ± 118	16 ± 3
Trachytes à sphérules siliceuses	1621 ± 46	1709 ± 150	12

Ces données devraient cependant être confirmées par davantage de mesures car peu d'échantillons ont été traités. Il est cependant possible de remarquer que les blocs de trachytes à sphérules siliceuses prélevés dans les remblais du cratère sont des déchets de l'exploitation. Leurs qualités moindres pourraient justifier leur rejet.

Ces résultats apportent un argument supplémentaire disqualifiant les carrières du Cliersou comme source de matériaux pour la construction du Temple de Mercure. En effet, les trachytes des carrières du Cliersou présentent une résistance à la compression bien inférieure au trachyte à sphérules siliceuses du Kilian.

4-4-3. Justification du choix du matériaux du Kilian

Malgré des caractéristiques mécaniques qui pourraient sembler médiocres en comparaison avec des matériaux de construction actuels, les Gallo-romains ont opté pour l'emploi de trachyte dans les constructions de l'agglomération du Col de Ceyssat et du Temple de Mercure. Ce choix a été motivé vraisemblablement par :

- la qualité de la roche pour son adéquation à l'usage visé et son aptitude à la taille ;
- le coût dépendant de la proximité et de l'accessibilité du gisement ainsi que de la facilité d'extraction.

Notre étude permet de nous intéresser principalement au critère « qualité de la roche » mais aussi aux aspects pratiques que sont l'accessibilité, la proximité et la facilité à travailler la pierre.

D'après nos résultats, il apparaît d'emblée que les trachytes « cendreaux » du Kilian, du Puy de Dôme, du Cliersou et certainement du Grand Sarcoui étaient impropres à une utilisation comme matériaux de construction. Ils présentent en effet des résistances à la compression statique très médiocres (inférieures à 10 MPa). Par contre leur porosité élevée qui en facilitait la taille et leur masse volumique faible qui limitait le poids des blocs transportés, expliquent l'usage privilégié de ce type de matériaux pour la réalisation des sarcophages au début du Moyen-Âge.

L'ensemble des résultats collectés montre qu'il existe dans la Chaîne des Puys des trachytes ayant des caractéristiques mécaniques supérieures au trachyte employé par les gallo-romains : les trachytes compacts de la partie sommitale du puy de Dôme et du puy Chopine. Dans les limites de la statistique de notre échantillonnage, on peut se poser la question de savoir pourquoi ces trachytes n'ont pas été retenus comme matériaux de construction. Ils ont peut être été écartés en raison de leur fracturation importante. D'autre part, au puy de Dôme, la taille et le nombre des phénocristaux de feldspath qui se comportent comme autant de « noyaux durs » ne devaient pas permettre d'avoir un fini de qualité suffisante pour les blocs monumentaux moulurés. Le chaperon du col de Ceyssat, tiré d'un bloc du puy de Dôme, le suggère par son aspect rugueux. La résistance à la compression simple très élevée de ces deux trachytes est peut-être une autre raison de leur non emploi. Il est plus difficile de tailler des blocs dans un matériau très résistant et cassant. Ceci démontre que les gallo-romains avait complètement optimisé leur approvisionnement en matériaux pour l'ensemble des sites autour du puy de Dôme.

Discussion générale

Il était apparu très tôt aux archéologues que le trachyte utilisé pour la construction du temple de Mercure n'était pas celui du puy de Dôme. Il semblait alors tout naturel de chercher son origine dans les carrières connues les plus proches, celles de l'Aumône et du Cliersou. Cette hypothèse prêtait d'autant moins au doute que le trachyte du temple de Mercure présente des affinités d'aspect et de composition minéralogique avec les deux autres (l'amphibole en petites baguettes noires y est aisément visible). Cependant, dès le début du XX^e siècle, le géophysicien Bernard Bruhnes souhaita pousser plus loin l'investigation. Il fit alors appel à sa propre spécialité, la mesure du magnétisme rémanent des laves. Sur la base de quelques mesures - qui n'ont jamais été refaites depuis -, il donna finalement la préférence soit à une carrière inconnue du Cliersou, soit à un puy contemporain (1906). Pour pouvoir juger de la validité des arguments de Bruhnes il faudrait refaire de telles mesures sur les matériaux du temple et sur l'ensemble des différents trachytes de la Chaîne des Puys.

Depuis, les conclusions de Bruhnes ont souvent été reprises dans la littérature, sans aucune tentative de vérification à notre connaissance, jusqu'au travail de Gély *et al.* (2009), déjà évoqué. Seuls les sarcophages mérovingiens en trachyte ont fait l'objet d'analyses géochimiques, conduisant à des conclusions argumentées (Gaime *et al.*, 2000). Incidemment, il faut noter qu'Alain de Goër avait pensé reconnaître le trachyte du puy de Dôme lui-même dans les matériaux de construction de l'agglomération gallo-romaine du col de Ceyssat (Goër, *in* : Trément *et al.*, 2003). Il semble que cette conclusion ne repose que sur un examen rapide sur le terrain, aucune trace d'échantillonnage ou d'analyse n'ayant été retrouvée.

Les résultats de nos travaux, quant à eux, montrent sans ambiguïté que le trachyte du Kilian a été une source majeure de matière première pour les bâtisseurs gallo-romains, sur le sommet du puy de Dôme et à sa base méridionale. En dépit d'une statistique d'échantillonnage limitée, il est raisonnable d'admettre qu'il s'agit même de la source principale. En effet, aux résultats numériques des analyses, il faut ajouter la remarque que tous les trachytes observés à l'œil nu sur les ruines gallo-romaines (temple de Mercure et col de Ceyssat) présentent un faciès particulier (faciès à sphérules siliceuses) qui témoigne d'une origine commune.

La carrière retrouvée est la plus proche et la plus facile d'accès (Cf. carte Fig. 1). Elle est située à quelques centaines de mètres seulement de l'agglomération gallo-romaine du col de Ceyssat, à une altitude voisine, et se trouve très vraisemblablement sur la plus large voie d'accès au temple de Mercure (Trément *et al.*, 2003). Il y a une logique évidente dans cette situation, bien qu'en toute rigueur il convienne de rester prudents dans la mesure où certaines informations nous échappent : des données de terrain (volume et accessibilité des matériaux de qualité disponibles dans les différentes carrières) et des données socio-économiques (régimes de propriété des carrières, organisations sociale, commerciale et artisanale). Le trachyte du Kilian a aussi été exporté, brut ou taillé sur place, en Limagne, ainsi que le prouvent les analyses du *cavalier à l'anguipède* et les observations sur l'échantillon du théâtre de Montaudou.

L'hypothèse de l'utilisation des trachytes du Cliersou et du Sarcoui à l'époque gallo-romaine

repose en partie sur l'observation de traces d'abatage de grands blocs dans ces deux sites (Gély *et al.*, 2009). Or, une prospection rapide nous a montré que de tels blocs avaient été utilisés en quantité notable pour la construction d'édifices religieux à l'époque romane (église de Montfermy, par exemple) et peut être plus récemment (église d'Orcines), s'il ne s'agit pas alors de remplois. Dans ces conditions, ce critère devrait être reconsidéré d'une façon plus approfondie.

Il reste cependant un point à éclaircir : s'il n'est pas douteux que tous les trachytes échantillonnés en contexte gallo-romain que nous avons analysés viennent du Kilian, il faut reconnaître que les bancs exploités n'ont pas été trouvés. Il est certain que les fronts de carrières correspondants sont aujourd'hui enfouis sous des quantités très importantes de déblais du haut Moyen Âge et de litière forestière, dans les parties basses du cratère. Il serait intéressant de pouvoir observer de tels affleurements en place. L'analyse détaillée aussi bien des moellons que des déchets montre que ces bancs n'étaient pas tous identiques et qu'ils étaient exploités en fonction de l'usage prévu du matériau : le trachyte des blocs sculptés du temple est remarquablement homogène et son grain est plus fin que celui utilisé pour les moellons de petit appareil. La fouille des fronts de taille correspondants et leur caractérisation pétrographique et géochimique pourraient se révéler utiles, par exemple, pour la compréhension de la logique de l'exploitation et de sa chronologie. Cela nécessite sans doute le déplacement de tonnes de matériaux, ce qui n'est pas envisageable dans le cadre de sondages manuels. Il est néanmoins prévu de faire progresser l'étude du cratère et de son anthropisation par d'autres voies : il est envisagé, à court terme, de modéliser le secteur en trois dimensions et à haute résolution grâce à un relevé topographique LIDAR aéroporté et de déterminer la structure cachée du cratère par le recours à des méthodes géophysiques.

Il sera de toutes façons certainement très instructif d'étudier un jour, en détail, les remblais qui remplissent le cratère Kilian. Cela apportera des informations sur le mode, et peut-être la chronologie de l'exploitation. Incidemment, la nature des déblais des basses terrasses a posé une petite question : certains blocs, relativement nombreux, sont de taille et de qualité suffisantes pour que des moellons de petit appareil puissent en être tirés, aussi pourquoi semblent-ils avoir été mis au rebut ? Les mesures mécaniques réalisées par E. Auzanneau et V. Héritier montrent qu'ils étaient de qualité inférieure. Si telle est la réponse, alors on ne peut que saluer la compétence des artisans gallo-romains capables de distinguer avec leur seul marteau des différences de qualité aussi faibles.

5. Conclusions

Les observations effectuées au cours des deux campagnes de sondages (2008 et 2009) dans le Kilian et les analyses menées en parallèle sur un échantillonnage de trachytes de différentes origines apportent des informations importantes et inédites : ce site a été un centre majeur d'exploitation du trachyte dans l'antiquité et, peut-être plus modeste, durant le haut Moyen Âge. L'impression qui se dégage des analyses et des observations sur le terrain est que le Kilian a été la source de l'essentiel des trachytes mis en œuvre par les gallo-romains, notamment pour l'ensemble de l'occupation antique du puy de Dôme (base sud et sommet). L'utilisation du trachyte du puy de Dôme pour la réalisation des chaperons est-elle accidentelle et réservée à cet usage ou bien est-elle plus large et a-t-elle une signification temporelle ? Seul un échantillonnage plus large et avec des contraintes archéologiques fortes permettrait de documenter cet aspect.

Ces conclusions apportent un éclairage nouveau sur le site antique du col de Ceyssat dont les carrières ont certainement contribué à asseoir l'importance logistique et économique au second siècle de notre ère.

Les très nombreuses données numériques (géochimie) ou qualitatives (pétrographie) acquises et enregistrées au cours de ces travaux seront mises à disposition de la communauté intéressée (archéologues et géologues notamment). Ces données permettront d'alimenter et de dynamiser la recherche sur l'exploitation et l'usage des trachytes dans le passé, depuis l'époque gallo-romaine jusqu'au Moyen Âge.

6. Remerciements

Les analyses ont été cofinancées par le SRA de la DRAC Auvergne. La municipalité de Saint-Genès-Champanelle nous a aimablement autorisés à pratiquer des sondages dans la parcelle du Bois de Manson.

Références

- Anglaret Yves et Cochet Patrick, 2007. Le train du puy de Dôme, Conseil Général du Puy-de-Dôme, Archives départementales, Photothèque63, 122 p.
- Auzanneau Estelle, Héritier Vincent (2010) Étude des caractéristiques physiques des moellons de l'agglomération gallo-romaine du col de Ceyssat (Puy-de-Dôme). Rapport d'étude de cas. Master « Géologie de l'aménagement » Département des Sciences de la Terre. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. 67 p.
- Baudry Daniel and Camus Guy (1970) Les projections volcaniques de la Chaîne des Puys et leurs utilisations. Rapport B.R.G.M. 70.S.G.N. 61. M.C.E. Bulletin du BRGM 11(2): 1-53.
- Boivin Pierre, Besson Jean-Claude, Briot Daniel, Camus Guy, Goër de Herve Alain de, Gourgaud Alain, Labazuy Philippe, Langlois Eric, Larouzière François-Dominique de, Livet Marc, Mergoïl Jean, Miallier Didier, Morel Jean-Marcel, Vernet Gérard, Vincent Pierre Marie (2009) Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français. 5ème édition. Édité par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne Château de Montlosier, Randanne, 63970 Aydat. (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.). 196 p et carte 1/25 000 120 x 90 cm.
- Carte d'état major Nos 5-6. 1/20 000. *Service héliographique de l'armée*, Edit. IGN 1933
- Cadastre de la commune d'Orcines, 1831.
- Connier Yves, Prival Marc (2008) Volvic, une pierre et des hommes. Créer.
- De Goër Alain, Avril 2003. Le puy Redon (ou Lacroix), in F. Trément (dir) avec la coll. de L. Humbert, B. Dousteyssier, J. Trescarte, L'agglomération antique du col de Ceyssat (Ceyssat, Orcines, Saint-Genès-Champanelle). Contribution à l'étude du contexte archéologique du temple de mercure (Puy-de-Dôme). Rapport de prospection thématique avec sondage n° 2001-62. Clermont-Ferrand : Centre de Recherches sur les Civilisations Antiques, 2003.
- Desmarests Nicolas (1823) (Carte géologique) A.D. du Puy-de-Dôme, 1Fi165
- Foury Patrice (1983) Étude expérimentale des laves de la Chaîne des Puys - Massif Central français, Université Blaise Pascal - Clermont II: 150p.
- Gély Jean Pierre, Lorenz Jacqueline et Tardy Dominique (2008) L'approvisionnement en pierres de construction des sanctuaires gallo-romains du sommet du Puy de Dôme. In : Pierres du Patrimoine Européen. *Ed. du comité des travaux historiques et scientifiques*, pp 241- 256.
- Charvillat Gaston (1919) « Publications de la commission des souterrains et excavations artificielles de France », *Bull. Soc. Préhist. Franç.*, Paris, 119-124.
- Fournier Pierre François (1973) Carrières de sarcophages en Basse Auvergne, in : Congrès des Sociétés savantes, Saint Etienne, *Archéologie*, 191 - 198.
- Gaime Sébastien, Rouger Eric, Gauthier Fabrice, Arbaret Laurent et Autivy Cyrille (2000) De la nécropole à la motte castrale : l'exemple du site d'Olby (Puy de Dôme), premières données de fouille, *Archéologie médiévale*, XXIX, 69-98.
- Lecoq Henri (1831) Itinéraire de Clermont au puy de Dôme ou description de cette montagne et de la vallée de Royat et de Fontanat, Thibaut-Landriot imp., Clermont-Ferrand, 95 p.
- Lecoq Henri (1867) Les époques géologiques de l'Auvergne. Tome III, Paris, Baillièrre et fils.

- Miallier Didier, Michon Laurent, Evin Jacque, Pilleyre Thierry, Sanzelle Serge & Vernet Gérard (2004) Volcans de la chaîne des Puys (Massif central, France) : point sur la chronologie Vasset-Kilian-Pariou-Chopine. Comptes rendus. Géoscience., 336,15, 1345-1353.
- Miallier Didier, Boivin Pierre, Dousteyssier Bertrand (2009a) Sondage d'une carrière d'extraction de trachyte du volcan Kilian. Commune de Saint-Genest-Champanelle (Puy-de-Dôme). Rapport de sondage archéologique n°6347. Autorisation préfectorale n°2008/201. 43 p.
- Miallier Didier, Couturié Jean-Pierre et Boivin Pierre (2009b) Note sur les grottes-carrières du Clierzou (Orcines, Puy-de-Dôme, 63). Rapport informel déposé à la DRAC Auvergne en juin 2009.
- Michon Laurent (1996) Le Cratère Kilian et le Puy Vasset : mécanismes éruptifs et distinction des produits proximaux et distaux. Comparaison avec le cratère-lac Pavin et le Puy Chopine. T.E.R. Maîtrise Sciences de la Terre, Université Blaise Pascal - Clermont II, Clermont-Ferrand, 19 p.
- Paillet Jean-Louis et Tardy Dominique (2003) Un site archéologique en milieu extrême : le temple de Mercure au sommet du Puy de Dôme, in : Vestiges archéologiques en milieu extrême, Idées et Débats, *Institut National du Patrimoine, Editions du patrimoine, Paris*, 32 - 49.
- Provost Michel, Menessier-Jouanet Christine (1994) Le Puy-de-Dôme (63), Carte archéologique de la Gaule, *Acad. Inscriptions Belles Lettres*, t. I, 290 p., t. II, 375 p.
- Ramond (1815) Nivellement barométrique des Monts Dore et des Monts Dômes, *Mémoires de l'Institut*.
- Segard Maxence (2010) Riom « ZA de Layat ». Rapport final d'opération d'archéologie préventive. SRA Auvergne. 3 volumes.

Annexe 1. Toponymie.

Au début du XX^e siècle, le volcanologue P. Glangeaud (1913) a introduit la dénomination *Cratère Kilian* en hommage au géologue Wilfrid Kilian qui fut son professeur (de Goër, *in* Trément *et al.*, 2003). Cette dénomination n'a été adoptée que par la littérature volcanologique mais elle est cependant bien connue aujourd'hui, y compris du public. Elle se réduit souvent au *Kilian*, sans référence au cratère, cet usage étant justifié par le fait que le cratère n'est qu'une partie d'un volcan complexe. La carte volcanologique, qui se base sur le fond topographique IGN, désigne le sommet dominant le cratère, au sud-est, sous le nom de *Puy des Grosmanaux*, la crête nord-ouest de la montagne étant dénommée *Bois de Manson* (cf., par ex., Boivin *et al.*, 2009).

De Goër (*in* Trément *et al.*, 2003) avait souligné que seule la dépression mérite le nom de *Cros Manau*, c'est-à-dire le creux Manau (« cros » est une forme ancienne de « creux » ; Cf., par exemple, Alain Rey, dictionnaire historique de la langue française). Sur la carte de Cassini (seconde moitié du XVIII^e siècle), ainsi que sur la carte de Nicolas Desmarets (1823), le lieu-dit *les Gromanoux* n'est pas localisé avec précision mais il ne s'attache pas à un « puy », les éminences étant bien dénommées « puys » sur les mêmes cartes : *Puy de Salomon*, par exemple. Pour Lecoq (1867), le site des *Grosmanaux*, comprend un volcan formé par l'association du *puy des Grosmanaux* et du *cratère de Grosmanaux*, ce dernier étant identifiable sans ambiguïté au *cratère Kilian*. En cela, Lecoq avait adopté la thèse de Ramond (1815, cité par Lecoq, 1867). Une confirmation convaincante de la thèse de de Goër est apportée par un dessin de la Chaîne des Puys remontant au troisième quart du XVII^e siècle (carte visuelle des appartenances de *Bravant*, reproduite dans Anglaret et Cochet, 2007) dans lequel c'est une dépression très marquée, située au pied sud du puy de Dôme, qui est nommée *cros manal* (*manal* pourrait être un nom de personne, c'est actuellement un prénom). Sur le même dessin le *cros déssieu* est une dépression située entre le puy de Côme et le puy Balmet.

Le toponyme s'est sans doute assez tôt étendu à la montagne voisine. Il apparaît, par exemple, sur le plan cadastral, daté 1831, de Saint Genès Champanelle, sous la forme de *puy de Grosmaneau*. Le passage au pluriel reste à expliquer. Il est peut-être lié au fait que, comme l'avait déjà remarqué Lecoq (1867) il y a plusieurs dépressions distinctes.

Les appellations *Bois de Manson* ou *Montagnes de Manson*, qui s'appliquent à tout ce secteur, notamment sur les plans du cadastre, s'expliquent vraisemblablement par le fait que c'était un « communal aux habitants de Manson » (plan cadastral de Saint Genès Champanelle, 1831). Par extension, le sommet de la montagne est nommé *Puy de Manson* sur la carte d'état major au 1/20 000 de 1933 (Clermont-Ferrand, N° 5-6). Sur le dessin du XVII^e siècle cité plus haut, ce secteur semble se dénommer *montaignes et bois de la Reyna*, avec une éminence (actuel puy Besace ou bien Bois de Manson ?) surplombant le *cros manal*, désignée sous le nom de *Pradel*.

La carte IGN 1/25000 de 2009 (2531 ET) porte, au niveau du *puy des Grosmanaux*, le nom *Sigoine*. Ce dernier apparaissait mille mètres plus à l'est, sous la forme de *Sigoïne*, sur la carte d'état major de 1933.

En conclusion, il n'apparaît pas judicieux d'abandonner le terme *Kilian* ainsi que le proposait de Goër (*in* Trément, 2003). En effet, ce nom est utile car il désigne une entité géologique unique dont les limites ne coïncident pas avec celles qui relèvent d'autres considérations, par exemple orographiques (*cros manal*) ou liées aux ayant-droits (*Bois de Manson*). Par ailleurs, en revenir aux *Grosmanaux* de Lecoq serait source de confusions dans la mesure où le *puy des Grosmanaux* et le cratère appartiennent à deux volcans distincts. Il serait en effet difficile d'imposer un abandon de l'appellation *puy des Grosmanaux* – pour la remplacer par quoi ? - même s'il est admis qu'elle résulte de l'extension spatiale d'un toponyme initialement affecté à la dépression.

A l'ouest, le nom du *puy Besace* qui domine le cratère est attesté sans variations d'orthographe sur divers documents anciens. Au nord-est, le *col de Ceyssat* a longtemps été la *roche Redon*, le *roc Redon* ou le *rocher Redon* (par exemple, sur le plan cadastral de Saint-Genès-Champanelle en 1831, sur le plan du puy de Dôme de Don Vours en 1931), ce toponyme s'étant semble-t-il tardivement déplacé vers l'épaule sud du puy de Dôme, devenu le *puy Redon* (carte d'état major, 1933), sinon le *puy Lacroix* (Cf. Goër, 2003). Le toponyme *la vialle*, (carte IGN 1/25000) ou *la Viale* (carte d'état major 1933) sur la pente ouest du puy de Dôme, est une réminiscence très commune de villa et pourrait faire référence à l'agglomération romaine du puy Redon ; toutefois la confirmation de cette hypothèse passe par la vérification que ce toponyme est attesté là depuis très longtemps.

Au sud du Kilian, le *puy Salomon* n'a pas changé de nom depuis le XVII^e siècle (dessin cité plus haut), tandis que le *Montchié* s'écrivait *mont cheix*, ce qui semble être une orthographe plus facilement explicable ; le *cheix* (endroit rocheux) est en effet un toponyme très répandu en Auvergne.

Annexe 2. Illustrations complémentaires

A2-1. Sondage S1



Figure A-1. Sondage S1 en bordure de la terrasse sud, au fond du cratère Kilian. Boivin©.



Figure A-2. S1 : Blocs de rebut, plus ou moins équarris trouvés juste sous la surface. Boivin©.



Figure A-3. S1 : Bloc portant des traces de taille. Boivin©.



Figure A-4. S1 : Bloc portant des traces de taille, vue arrière. Boivin©.

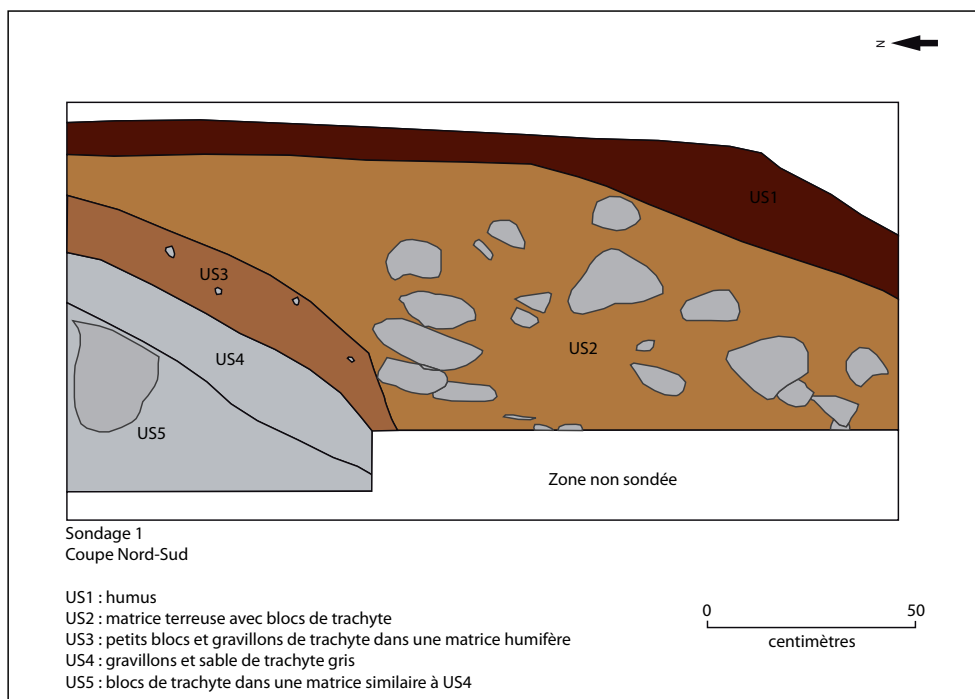


Figure A-5. Coupe schématique du sondage S1. DAO Dousteysier

A2-2. K7/S2 position sur le flanc du cratère et plan

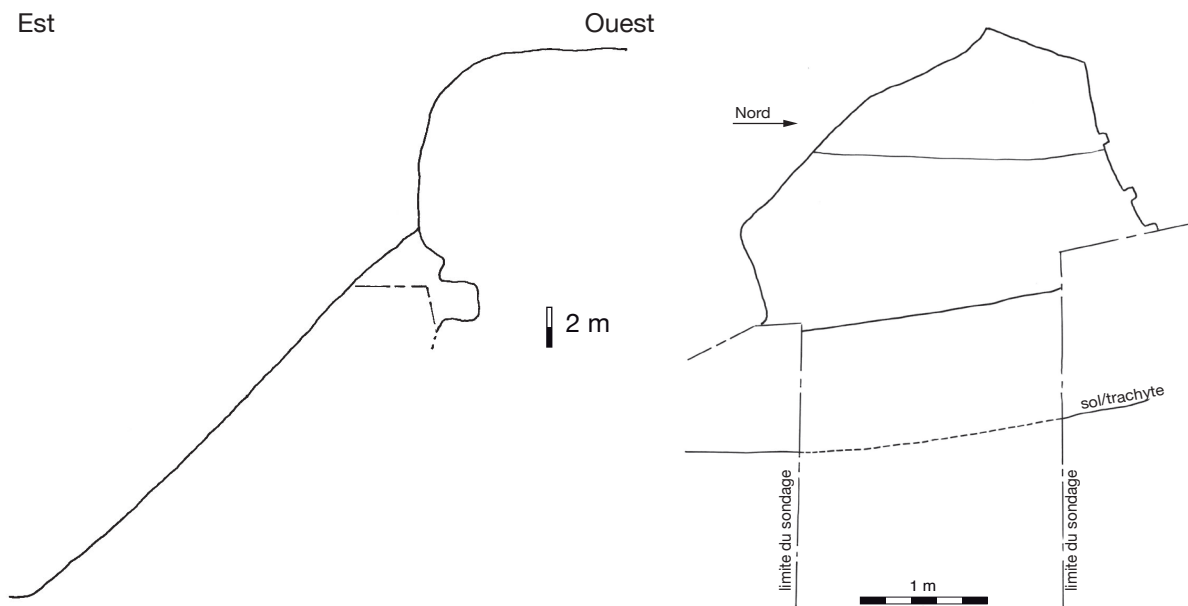


Figure A-6. S2 : Position schématique sur le flanc du cratère Kilian; seule la cavité est à l'échelle. Dessin Miallier.

Figure A-7. S2 : Vue en plan, à mi-hauteur de la cavité. Dessin Miallier.

A2-3. Sondage S2



Figure A-8. S2 : Remplissage incomplet de la cavité. Miallier©.



Figure A-9. S2 : Niche d'enlèvement de sarcophage ? Boivin©.



Figure A-10. S2 : Détail du plafond. Boivin©.



Figure A-11. S2 : Ensemble de la cavité dégagée. Boivin©.



Figure A-12. S2 : Détail de la paroi du fond. Boivin©.



Figure A-13. S2 : Cavité d'usage indéterminé. Boivin©.



Figure A-14. S2 : Partie supérieure du remplissage. Boivin©.



Figure A-15. S2 : Partie inférieure du remplissage. Boivin©.

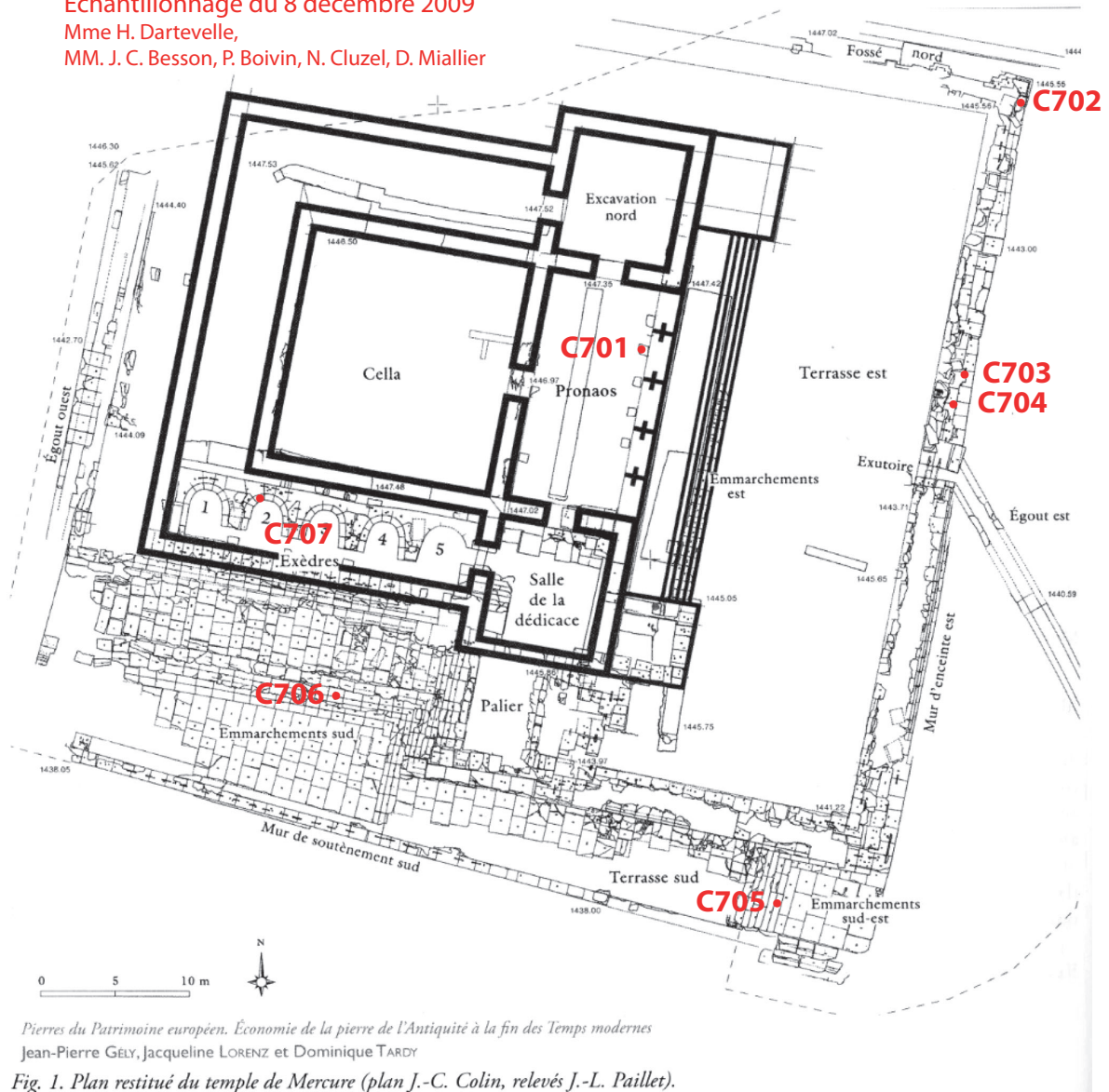
A2-4. Échantillonnage du grand appareil du Temple de Mercure

Temple de Mercure. Puy de Dôme

Échantillonnage du 8 décembre 2009

Mme H. Darteville,

MM. J. C. Besson, P. Boivin, N. Cluzel, D. Miallier



Pierres du Patrimoine européen. Économie de la pierre de l'Antiquité à la fin des Temps modernes
Jean-Pierre GELY, Jacqueline LORENZ et Dominique TARDY

Fig. 1. Plan restitué du temple de Mercure (plan J.-C. Colin, relevés J.-L. Paillet).



Figure A-16. Bloc de grand appareil avec trous de louve à l'extérieur de l'enceinte du temple de Mercure. Échantillon PB08-2307-T1. Miallier©.



Figure A-17. Bloc de grand appareil à l'extérieur de l'enceinte du temple de Mercure. Échantillon PB08-2307-T2. Miallier©.

A2-5. Images X

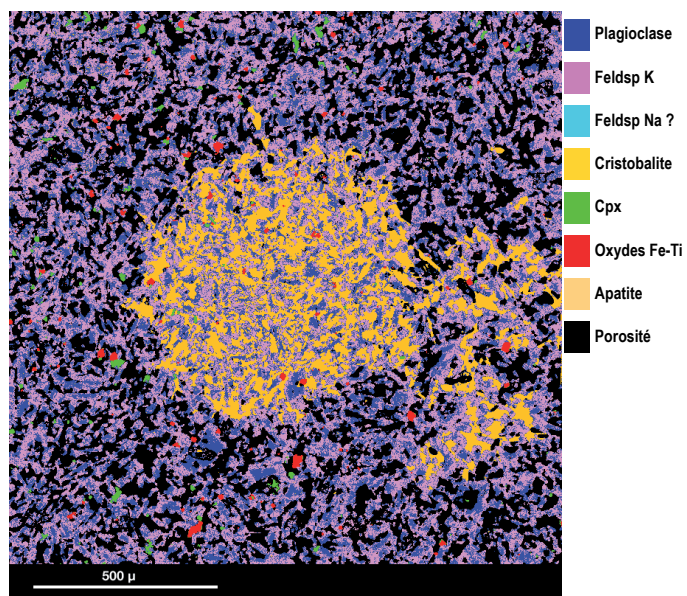


Figure A-18. Sphères de cristobalite imprégnant la mésostase. Image de corrélation des cartes de répartition des éléments K-Ca-Fe-Si. Échantillon C679, déchet de taille, S1, cratère Kilian.

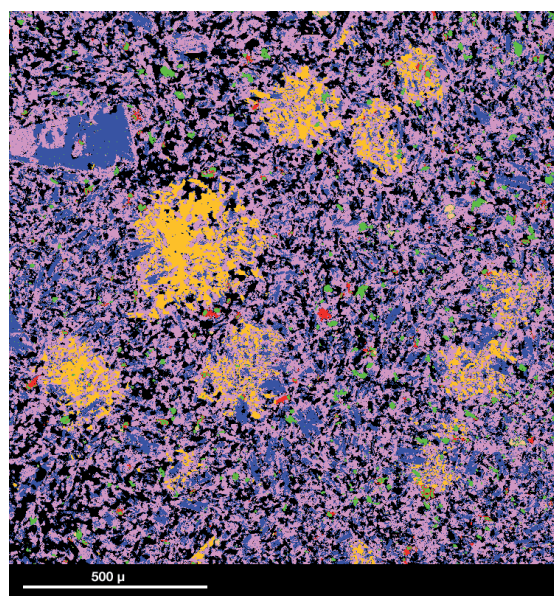


Figure A-19. Sphères de cristobalite imprégnant la mésostase. Image de corrélation des cartes de répartition des éléments K-Ca-Fe-Si. Échantillon PB08-1405-03, petit appareil, bâtiment S34, zone 1, puy Redon (Trément et al., 2003).

Annexe 3. Tables

A3-1. Coordonnées des cavités et affleurements reconnus dans le cratère Kilian ($\pm 10m$)

Sondage	X		Y		Z m
	Lambert II	UTM	Lambert II	UTM	
Cavité K1	647,976	496363	2084,795	5067581	1070
Cavité K2	647,984	496370	2084,773	5067559	1067
Cavité K3	647,970	496356	2084,780	5067566	1059
Site K4	648,051	496437	2084,771	5067556	1100
Site K5	648,108	496494	2084,715	5067500	1100
Site K6	648,050	496437	2084,740	5067526	1080
Cavité K7	647,830	496217	2084,679	5067467	1036
Sondage S2	647,890	496276	2084,644	5067410	1030

A3-2. Échantillonnage étudié dans ce travail

Échantillons d'objets archéologiques

Référence	Coordonnées UTM X Y		Date écht	Remarque	Secteur
BPG1	496642	5068175		Petit moellon Grand appareil	Puy Redon
BPG2	496642	5068175			Puy Redon
PB08-1405-01	496642	5068175	14/05/08		Puy Redon
PB08-1405-02	496642	5068175	14/05/08		Puy Redon
PB08-1405-03	496642	5068175	14/05/08		Puy Redon
BPAub1	496603	5067851		Chaperon	Auberge, col de Ceyssat
BPG4	496091	5067813		faciès différent	Maison romaine, voie Agrippa
BPG5	496091	5067813		Brèche polygénique	Maison romaine, voie Agrippa
PB10-3004-1	496091	5067813	30/04/10		Maison romaine, voie Agrippa
BPM1	497201	5068665		Grand appareil avec trous de louve Grand appareil	Temple de Mercure
PB07-0510-01	497198	5068693	05/10/07		Temple de Mercure. Tranchée de reconnaissance n°32
PB07-0510-02	497198	5068693	05/10/07		Temple de Mercure. Tranchée de reconnaissance n°32
PB08-2307-T1	497201	5068665	23/07/08		Temple de Mercure
PB08-2307-T2	497201	5068665	23/07/08		Temple de Mercure
C701	Plan Annexe 2		08/12/09		Temple de Mercure n°1
C702	Plan Annexe 2		08/12/09		Temple de Mercure n°2
C703	Plan Annexe 2		08/12/09		Temple de Mercure n°3
C704	Plan Annexe 2		08/12/09		Temple de Mercure n°4
C705	Plan Annexe 2		08/12/09		Temple de Mercure n°5
C706	Plan Annexe 2		08/12/09		Temple de Mercure n°6
C707	Plan Annexe 2		08/12/09		Temple de Mercure n°7
Isolat 35				Cavalier à l'anguipède	Riom
Isolat 35				Cavalier à l'anguipède	Riom

Échantillons de trachyte prélevés sur le Kilian

Référence	Coordonnées UTM		Date	Remarques	Type d'échantillon	Secteur
	X	Y				
Cler 675	496203	5067385	16/10/09	Talus du chemin longeant le cratère par l'ouest	Bloc libre	Affleurements sud-ouest
Cler 676	96203	5067385	16/10/09	Talus du chemin longeant le cratère par l'ouest	Bloc libre	
Cler 677	496211	5067376	16/10/09	Pente sous le chemin qui borde le cratère par l'ouest	Bloc libre	
BPK4	496177	5067374	20/11/08	Talus du chemin longeant le cratère par l'ouest	Bloc libre	
Cler 708	496215	5067466		Sondage S2 2009 (cavité K7)	Bloc libre	Affleurements ouest
Cler 610	496255	5067539	05/07/08	Pied des falaises, sous la route	Roche en place	Affleurements nord-ouest
Cler 611	496281	5067575	05/07/08		Roche en place	
Cler 612	496266	5067564	05/07/08		Roche en place	
BPK1			20/11/08		Roche en place	
BPK5	496494	5067500	20/11/08	Chaos de gros blocs avec traces d'outil	Roche en place	Zone est (Bois de Manson)
BPK6	496437	67526		Creux avec 2 blocs taillés en place (site K6)	Roche en place	
Cler 613	496371	5067539		Affleurements du bord du chemin	Roche en place	
Cler 614	496371	5067539		Affleurements du bord du chemin	Roche en place	
Cler 615	496371	5067539		Affleurements du bord du chemin	Roche en place	
Cler 616	496366	5067551		Affleurements du bord du chemin (déblais)	Bloc libre	
BPK2	496372	5067559		Cavité K2 (extérieur)	Roche en place	
BPK3				Cavité K2 (remplissage)	Bloc libre	
Cler 678	496247	5067403	16/10/09	Mi- pente NW du cratère sud	Bloc libre	Fond du cratère
Cler 679	496276	5067410	28/10/09	Sondage S1 2009	Bloc libre	
Cler 680	496276	5067410	28/10/09	Sondage S1 2009	Bloc libre	
Cler 681	496276	5067410	28/10/09	Sondage S1 2009	Bloc libre	

Échantillons de trachyte prélevés sur le Cliersou, l'Aumône et le Sarcoui

Référence	Coordonnées UTM X Y		Date écht	Remarque	Secteur
BPCS1	496834	5071290	20/11/08	Roche en place	Cliersou sud. Fond de la grotte
BPCNO1				Roche en place	Cliersou. Grotte nord-ouest (NO)
BPCNO2				Roche en place	Cliersou. Grotte nord-ouest (NO)
BPCNO3				Roche en place	Cliersou. Grotte nord-ouest (NO)
BPCNO4				Roche en place	Cliersou. Grotte nord-ouest (NO), niveau inférieur
BPCNO5	496834	5071290		Roche en place	Cliersou. Grotte nord-ouest (NO), niveau inférieur
Cler620	498236	5073635	14/09/08	Faciès tendre Faciès dur	Sarcoui
Cler621	498342	5073252	21/09/08		Sarcoui
Cler622	498276	5073478	21/09/08		Sarcoui
Cler623	498329	5073339			Sarcoui
C685	498991	498991	31/10/09		Sarcoui
C686	498991	498991	31/10/09		Sarcoui
BPS1					Aumône. Face sud. Grotte ouest
BPS2				Grand appareil avec trous de louve	Aumône. Face sud. Grotte milieu
BPS3				Grand appareil	Aumône. Face sud. Grotte est
AMN1				Echt Piquel	Aumône
AMN2				Echt Piquel	Aumône

A3-3. Paragenèses complètes observées dans les échantillons

Origine	Phénocristaux								Mésostase				
	Plagio	Na Sanidine	Cpx	Amphibole	Biotite	Apatite	Oxydes de Fe-Ti	Autre	Plagio	Cpx	Mica	Oxydes de Fe-Ti	sphère de silice
Aumône / Petit Suchet	X peu destabilisé		X incolore ou vert	X		X	X		X	X		X	
Cliersou	X un peu destabilisé		X incolore	X		X	X		X	X		X	
Kilian	X destabilisé			X	X	X	X		X	X		X	
Sarcoui	X peu destabilisé				X	X	X		X		X	X	
PdD	X peu destabilisé	X	X vert		X	X	X	zircon	X	X		X	
Chopine	X	X	X vert		X	X	X	sphène	X	X		X	
Moellon	X destabilisé			X destabilisé	X destabilisé	X	X		X	X		X	X
Anguipède	X destabilisé			X destabilisé	X destabilisé	X	X		X	X		X	X
Kilian déblais	X destabilisé			X destabilisé	X destabilisé	X	X		X	X		X	X
Chaperon	X peu destabilisé	X	X vert		X	X	X		X			X	

A3-4. Composition Roches Totales des trachytes étudiés (analyses nouvelles)



Laboratoire : Magmas et Volcans

CRMP- Service ICP-AES

Mhammed BENBAKKAR

5, rue Kessler-63038 Clermont-Fd Cedex

Tél: 04 73 34 67 47 / Fax: 04 73 34 67 44

A l'attention de Pierre BOIVIN

27-fév-09							
Nom Echant.	BP S1	BP M1	BP K6	BP CN	BP G2	BP G5	CLER G22
Ref Labo	Boivin-09-08	Boivin-09-09	Boivin-09-10	Boivin-09-11	Boivin-09-12	Boivin-09-13	Boivin-09-14
SiO ₂ %	59,81	63,94	63,64	60,36	63,56	63,99	64,40
Al ₂ O ₃ %	17,41	17,83	17,73	17,83	17,82	17,78	18,71
Fe ₂ O ₃ %	4,92	3,10	3,03	5,15	3,03	3,27	3,24
MgO %	1,10	0,60	0,62	1,12	0,61	0,68	0,44
CaO %	3,22	2,02	1,99	3,77	2,09	2,22	1,47
Na ₂ O %	5,94	7,28	6,70	4,79	6,62	6,51	5,85
K ₂ O %	4,07	4,79	4,42	3,19	4,20	4,12	4,22
TiO ₂ %	0,85	0,53	0,51	0,89	0,51	0,57	0,49
MnO %	0,21	0,24	0,22	0,22	0,23	0,24	0,15
P ₂ O ₅ %	0,37	0,15	0,14	0,43	0,16	0,18	0,14
Ba %	0,0952	0,1211	0,1210	0,1197	0,1243	0,1296	0,1171
Sr %	0,0602	0,0527	0,0521	0,0654	0,0525	0,0538	0,0437
H ₂ O +%	1,90	0,04	0,07	1,92	0,02	0,03	0,11
H ₂ O -%	0,28	0,06	0,28	0,36	0,20	0,23	0,84
Total %	100,24	100,75	99,53	100,22	99,23	100,00	100,22

13-jan-10								
Nom Echant.	AMN1	C708	BPG4	BPK2	BPS3	C702	C675	PB08-1405-2-T1
Ref Labo	Boivin-10-01	Boivin-10-02	Boivin-10-03	Boivin-10-04	Boivin-10-05	Boivin-10-06	Boivin-10-07	Boivin-10-08
SiO ₂ %	62,46	65,34	65,10	64,69	61,23	65,75	64,94	65,26
Al ₂ O ₃ %	17,39	17,29	17,21	17,32	17,31	17,04	16,83	16,85
Fe ₂ O ₃ %	4,55	3,08	2,91	2,98	4,69	3,00	3,07	3,01
MgO %	1,11	0,59	0,64	0,64	1,17	0,65	0,65	0,67
CaO %	3,29	1,90	1,95	1,99	3,06	2,13	2,12	2,17
Na ₂ O %	5,72	6,22	6,33	6,16	5,42	6,15	6,06	6,03
K ₂ O %	3,73	4,23	4,31	4,12	5,57	4,07	4,15	4,07
TiO ₂ %	0,77	0,52	0,49	0,50	0,80	0,51	0,52	0,51
MnO %	0,21	0,20	0,22	0,23	0,21	0,23	0,24	0,23
P ₂ O ₅ %	0,31	0,17	0,15	0,16	0,31	0,17	0,17	0,18
Ba %	0,0936	0,1240	0,1131	0,1156	0,0830	0,1246	0,1264	0,1251
Sr %	0,0614	0,0500	0,0502	0,0505	0,0574	0,0513	0,0527	0,0518
H ₂ O +%	0,07	0,05	0,07	0,19	0,11	0,01	0,12	0,03
H ₂ O -%	0,13	0,12	0,10	0,82	0,33	0,10	0,40	0,11
Total %	99,89	99,89	99,65	99,97	100,35	99,98	99,44	99,30

Nom Echant.	C616	C677	C679	ISOLAT 35	C701	BPK1	BPaub 1	BP G1
Ref Labo	Boivin-10-09	Boivin-10-10	Boivin-10-11	Boivin-10-12	Boivin-10-13	Boivin-10-14	Boivin-10-15	Boivin-10-16
SiO ₂ %	64,96	64,73	65,45	65,09	64,14	64,46	67,83	64,82
Al ₂ O ₃ %	17,38	17,20	17,31	17,22	17,24	17,40	16,09	17,17
Fe ₂ O ₃ %	2,95	2,87	2,89	2,95	2,98	2,86	2,36	3,03
MgO %	0,62	0,62	0,67	0,71	0,72	0,72	0,48	0,79
CaO %	1,90	1,86	1,97	2,07	1,97	1,93	0,85	2,07
Na ₂ O %	6,46	6,47	6,20	6,37	6,48	6,40	5,43	6,31
K ₂ O %	4,46	4,34	4,07	4,22	4,42	4,38	4,73	4,25
TiO ₂ %	0,50	0,49	0,49	0,50	0,51	0,52	0,36	0,52
MnO %	0,22	0,21	0,22	0,22	0,22	0,11	0,14	0,23
P ₂ O ₅ %	0,15	0,15	0,14	0,17	0,16	0,17	0,12	0,17
Ba %	0,1186	0,1075	0,1095	0,1125	0,1006	0,1055	0,0765	0,1059
Sr %	0,0485	0,0482	0,0506	0,0511	0,0516	0,0519	0,0188	0,0510
H ₂ O +%	0,02	0,01	0,07	0,00	0,01	0,13	0,10	0,00
H ₂ O -%	0,29	0,13	0,07	0,16	0,15	0,59	0,60	0,15
Total %	100,08	99,24	99,71	99,85	99,16	99,83	99,17	99,65

5-fév-10						
Nom Echant.	PDD 23/7/28 T1	AMN 2	PB08 1405-09	BPC NO2	B PC NO4	B PC NO5
Ref Labo	Boivin-10-17	Boivin-10-18	Boivin-10-19	Boivin-10-20	Boivin-10-21	Boivin-10-22
SiO ₂ %	63,85	62,67	65,28	61,43	61,87	61,26
Al ₂ O ₃ %	17,55	17,01	17,66	17,58	17,78	17,83
Fe ₂ O ₃ %	3,03	4,69	3,04	4,78	4,75	4,82
MgO %	0,49	1,12	0,51	1,10	1,17	1,19
CaO %	1,93	3,14	2,08	3,37	3,53	3,43
Na ₂ O %	6,52	5,44	5,94	5,45	5,40	5,76
K ₂ O %	4,58	3,76	4,19	3,93	3,61	3,66
TiO ₂ %	0,57	0,82	0,51	0,89	0,82	0,82
MnO %	0,21	0,21	0,23	0,21	0,21	0,22
P ₂ O ₅ %	0,16	0,32	0,17	0,33	0,32	0,33
Ba %	0,1367	0,1009	0,1427	0,1048	0,1021	0,1012
Sr %	0,0506	0,0571	0,0527	0,0613	0,0643	0,0619
H ₂ O +%	0,04	0,03	0,01	0,06	0,00	0,01
H ₂ O -%	0,22	0,34	0,15	0,56	0,19	0,34
Total %	99,34	99,70	99,96	99,85	99,82	99,83

Nom Echant.	C 678	C 685	C 703	C 704	C 705	C 706	C 707
Ref Labo	Boivin-10-23	Boivin-10-24	Boivin-10-25	Boivin-10-26	Boivin-10-27	Boivin-10-28	Boivin-10-29
SiO ₂ %	65,00	64,95	64,72	65,76	64,91	65,71	64,69
Al ₂ O ₃ %	17,57	17,39	17,75	17,51	17,46	17,40	17,20
Fe ₂ O ₃ %	3,07	3,18	3,10	3,08	3,19	3,23	3,29
MgO %	0,63	0,63	0,57	0,59	0,59	0,59	0,64
CaO %	2,08	1,82	2,11	2,05	2,04	2,01	2,08
Na ₂ O %	6,13	5,89	6,23	5,82	6,33	5,88	6,11
K ₂ O %	4,14	4,51	4,17	3,85	4,28	3,94	4,03
TiO ₂ %	0,50	0,46	0,51	0,51	0,51	0,50	0,52
MnO %	0,24	0,22	0,23	0,24	0,23	0,23	0,24
P ₂ O ₅ %	0,16	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,17
Ba %	0,1345	0,1118	0,1425	0,1382	0,1315	0,1293	0,1312
Sr %	0,0532	0,0376	0,0528	0,0499	0,0507	0,0506	0,0501
H ₂ O +%	0,02	0,00	0,00	0,11	0,00	0,01	0,00
H ₂ O -%	0,22	0,15	0,07	0,01	0,08	0,04	0,09
Total %	99,93	99,55	99,81	99,89	99,96	99,88	99,23

A3-5. Compositions moyennes des phénocristaux de feldspath

Les valeurs entre parenthèses sont les écart-types

Feldspath	Effectifs (624)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Total
Aumône	61	57,77 (1,69)	24,35 (1,15)	0,35 (0,04)	0,02 (0,01)	7,49 (0,80)	6,86 (0,45)	0,74 (0,12)	0,05 (0,03)	0,01 (0,02)	97,65
Cliersou	60	58,62 (2,87)	23,72 (2,08)	0,39 (0,18)	0,04 (0,13)	6,82 (2,18)	7,00 (0,62)	1,32 (1,58)	0,04 (0,05)	0,04 (0,14)	97,84
Kilian	81	61,41 (1,38)	23,35 (0,97)	0,32 (0,05)	0,01 (0,01)	4,76 (1,78)	7,64 (0,45)	1,11 (0,33)	0,03 (0,03)	0,01 (0,02)	99,12
Kilian déblais	52	61,90 (1,92)	23,61 (1,41)	0,32 (0,08)	0,01 (0,01)	5,06 (1,58)	7,70 (0,48)	1,32 (0,87)	0,03 (0,03)	0,02 (0,02)	99,98
Moellon	143	61,58 (1,58)	23,42 (1,22)	0,32 (0,07)	0,01 (0,01)	5,34 (1,26)	7,56 (0,40)	1,19 (0,81)	0,03 (0,02)	0,01 (0,02)	99,49
Anguipède	39	62,13 (1,14)	23,46 (0,83)	0,28 (0,04)	0,01 (0,01)	4,98 (1,66)	7,81 (0,38)	1,21 (0,26)	0,03 (0,02)	0,01 (0,02)	99,91
Sarcoui	55	61,42 (0,77)	23,59 (0,50)	0,27 (0,04)	0,01 (0,01)	4,97 (1,10)	7,64 (0,23)	1,04 (0,13)	0,03 (0,02)	0,01 (0,02)	99,41
PdD	94	63,42 (1,71)	22,10 (1,47)	0,26 (0,09)	0,01 (0,04)	3,09 (1,93)	7,63 (1,01)	2,63 (2,57)	0,03 (0,03)	0,02 (0,02)	99,71
Chaperon	14	64,65 (1,62)	20,72 (1,73)	0,21 (0,07)	0,01 (0,01)	1,89 (1,74)	6,93 (1,57)	4,86 (3,71)	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	99,58
Chopine	25	64,91 (0,77)	20,65 (1,24)	0,22 (0,08)	0,00 (0,01)	1,71 (1,09)	7,25 (1,34)	4,77 (3,07)	0,02 (0,02)	0,01 (0,02)	99,42

A3-6. Compositions moyennes des phénocristaux d'amphibole

Amphibole	Effectifs (373)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Total
Aumône	33	40,66 (0,73)	12,07 (0,43)	15,04 (0,42)	11,01 (0,21)	11,04 (0,13)	2,64 (0,10)	1,25 (0,09)	3,83 (0,27)	0,56 (0,12)	98,10
Cliersou	33	40,38 (0,64)	12,19 (0,57)	15,17 (0,55)	10,96 (0,23)	11,02 (0,21)	2,65 (0,14)	1,25 (0,09)	3,77 (0,36)	0,55 (0,12)	97,94
Kilian	57	40,81 (0,52)	11,03 (0,46)	15,81 (0,88)	10,74 (0,27)	10,84 (0,22)	2,66 (0,09)	1,31 (0,07)	3,37 (0,19)	0,99 (0,17)	97,56
Kilian déblais	74	40,81 (0,53)	11,36 (0,63)	15,74 (0,65)	10,78 (0,20)	10,86 (0,19)	2,67 (0,27)	1,27 (0,11)	3,47 (0,32)	0,91 (0,21)	97,86
Moellon	114	40,94 (0,44)	11,19 (0,54)	15,90 (0,56)	10,81 (0,23)	10,89 (0,18)	2,73 (0,11)	1,31 (0,09)	3,44 (0,31)	0,95 (0,20)	98,16
Anguipède	17	40,80 (0,46)	11,37 (0,45)	15,91 (0,80)	10,71 (0,35)	10,88 (0,17)	2,75 (0,09)	1,27 (0,07)	3,39 (0,30)	0,95 (0,17)	98,04
Puy de Dôme	4	41,29 (0,98)	10,82 (0,99)	13,82 (0,44)	13,18 (0,96)	10,83 (0,10)	2,75 (0,06)	1,10 (0,03)	3,49 (0,36)	0,69 (0,09)	97,95

A3-7. Compositions moyennes des phénocristaux de clinopyroxène

Clinopyroxène Phénocristaux	Effectifs (73)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Total
Aumône	16	49,29 (2,86)	5,38 (3,54)	9,09 (1,12)	12,87 (0,85)	20,81 (0,60)	0,70 (0,13)	0,02 (0,02)	1,31 (0,85)	0,54 (0,56)	100,00
Cliersou	13	48,74 (0,79)	6,66 (1,03)	7,14 (1,00)	14,04 (0,68)	20,74 (0,60)	0,61 (0,10)	0,02 (0,02)	1,39 (0,24)	0,14 (0,06)	99,52
Chaperon	19	51,98 (0,33)	1,26 (0,21)	11,11 (0,25)	11,19 (0,26)	20,55 (0,27)	0,99 (0,08)	0,02 (0,02)	0,22 (0,06)	2,54 (0,20)	99,84
PdD	22	51,84 (0,48)	1,36 (0,27)	11,11 (0,62)	11,06 (0,46)	20,38 (0,40)	1,03 (0,12)	0,01 (0,02)	0,24 (0,07)	2,68 (0,32)	99,72
Chopine	3	51,31 (0,59)	1,73 (0,25)	11,50 (0,96)	10,36 (0,76)	20,32 (0,34)	1,26 (0,06)	0,03	0,31 (0,15)	2,71 (0,44)	99,53

A3-8. Compositions moyennes des microlites de clinopyroxène

Clinopyroxène Microlites	Effectifs (114)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Total
Aumône	2	50,65 (0,62)	2,71 (0,91)	9,60 (0,47)	13,15 (0,00)	20,36 (0,02)	0,58 (0,15)	0,06 (0,01)	0,98 (0,21)	1,27 (0,23)	99,33
Cliersou	3	49,82 (0,51)	4,96 (0,24)	8,22 (0,35)	15,03 (0,13)	19,15 (0,32)	0,54 (0,22)	-	1,21 (0,05)	0,11 (0,05)	99,12
Kilian	10	51,25 (0,34)	0,57 (0,53)	14,34 (1,20)	10,64 (0,57)	17,46 (0,87)	0,79 (0,34)	0,04 (0,03)	0,46 (0,22)	3,87 (0,36)	99,41
Kilian déblais	18	51,15 (0,62)	0,48 (0,12)	14,33 (1,76)	10,57 (1,17)	17,41 (1,37)	0,68 (0,26)	0,05 (0,03)	0,39 (0,07)	3,86 (0,44)	98,92
Moellon	54	51,52 (0,52)	0,58 (0,44)	13,67 (1,28)	11,45 (0,88)	17,49 (1,49)	0,57 (0,07)	0,04 (0,02)	0,41 (0,14)	3,74 (0,51)	99,46
Anguipède	15	51,41 (0,99)	1,10 (1,39)	12,55 (1,62)	11,97 (1,25)	18,01 (1,09)	0,63 (0,17)	0,05 (0,09)	0,57 (0,41)	3,32 (0,68)	99,60
PdD	12	50,97 (0,61)	0,86 (0,54)	16,27 (5,34)	11,53 (1,26)	12,98 (6,21)	0,63 (0,39)	0,05 (0,03)	0,40 (0,18)	5,37 (1,83)	99,06

A3-9. Compositions moyennes des phénocristaux de biotite

Biotite	Effectifs (624)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Total
Aumône	61	57,77 (1,69)	24,35 (1,15)	0,35 (0,04)	0,02 (0,01)	7,49 (0,80)	6,86 (0,45)	0,74 (0,12)	0,05 (0,03)	0,01 (0,02)	97,65
Cliersou	60	58,62 (2,87)	23,72 (2,08)	0,39 (0,18)	0,04 (0,13)	6,82 (2,18)	7,00 (0,62)	1,32 (1,58)	0,04 (0,05)	0,04 (0,14)	97,84
Kilian	81	61,41 (1,38)	23,35 (0,97)	0,32 (0,05)	0,01 (0,01)	4,76 (1,78)	7,64 (0,45)	1,11 (0,33)	0,03 (0,03)	0,01 (0,02)	99,12
Kilian déblais	52	61,90 (1,92)	23,61 (1,41)	0,32 (0,08)	0,01 (0,01)	5,06 (1,58)	7,70 (0,48)	1,32 (0,87)	0,03 (0,03)	0,02 (0,02)	99,98
Moellon	143	61,58 (1,58)	23,42 (1,22)	0,32 (0,07)	0,01 (0,01)	5,34 (1,26)	7,56 (0,40)	1,19 (0,81)	0,03 (0,02)	0,01 (0,02)	99,49
Anguipède	39	62,13 (1,14)	23,46 (0,83)	0,28 (0,04)	0,01 (0,01)	4,98 (1,66)	7,81 (0,38)	1,21 (0,26)	0,03 (0,02)	0,01 (0,02)	99,91
Sarcoui	55	61,42 (0,77)	23,59 (0,50)	0,27 (0,04)	0,01 (0,01)	4,97 (1,10)	7,64 (0,23)	1,04 (0,13)	0,03 (0,02)	0,01 (0,02)	99,41
PdD	94	63,42 (1,71)	22,10 (1,47)	0,26 (0,09)	0,01 (0,04)	3,09 (1,93)	7,63 (1,01)	2,63 (2,57)	0,03 (0,03)	0,02 (0,02)	99,71
Chaperon	14	64,65 (1,62)	20,72 (1,73)	0,21 (0,07)	0,01 (0,01)	1,89 (1,74)	6,93 (1,57)	4,86 (3,71)	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	99,58
Chopine	25	64,91 (0,77)	20,65 (1,24)	0,22 (0,08)	0,00 (0,01)	1,71 (1,09)	7,25 (1,34)	4,77 (3,07)	0,02 (0,02)	0,01 (0,02)	99,42

A3-10. Paramètres mécaniques des trachytes

Localisation	Échantillon	Masse volumique - mesure hydrostatique (kg/m ³)		Vitesse de propagation des ultrasons (m.s-1)		Résistance à la compression simple (MPa)	
		moy.	+/-	v moy	+/-	Rc moy	+/-
Cliersou Grotte S	C1	1660	1	1172	65	4,2	0,9
Cliersou grotte NO	C2	1627	6	1229	165	3,2	1,0
Cliersou grotte NO	C3	1687	29	2164	17	17,3	1,1
Cliersou grotte NO	C4	1604	23	1165	118	3,8	0,4
Cliersou Grotte S	C5	1649	33	1222	97	6,4	0,9
PdD 300 m	Pdd 1	1588	0	1619	255	11,1	2,7
PdD 650 m	Pdd 3	1960	0	1758	156	40,2	4,1
PdD 3100 m	Pdd 4	1917	0	1821	228	13,1	2,6
PdD 3650 m	Pdd 5	1311	32	513	4	0,7	0,0
PdD Muletier/route	BD-CP7	2034	0	1506	48	27,8	0,6
Kilian. Affleurement SO	K01	1411	0	893	9	0,9	0,0
Kilian. Carrière mérovingienne NO	K02	1616	0	1501	80	6,3	0,9
Kilian. Carrière mérovingienne NO	K03	1412	0	781	38	2,7	0,2
Kilian. Fouille 10/08	BD-CP6-KB2	1624	29	2316	71	24,0	4,6
Kilian. Fouille 10/08	K04	1371	0	1071	34	1,9	0,1
Kilian. Fouille 10/08	K05	1369	8	833	52	2,0	0,5
Kilian. S1	KP1	1435	0	821	33	2,2	2,2
Kilian. S2	KP2	1648	0	953	131	3,0	0,6
Kilian. S1 à sphères de silice	KT1	1667	0	1560	105	12,6	1,2
Kilian. S1 à sphères de silice	KT2	1576	4	1859	63	12,1	2,2
Moellon Via Agrippa	M1	1867	0	1372	4	22,3	0,9
Moellon Via Agrippa	M2	1766	0	1479	188	16,4	0,0
Moellon Via Agrippa	M3	1869	0	1197	4	10,9	0,3
Moellon Via Agrippa	M5	1881	10	1563	82	16,4	1,5
Chopine	CH1	2044	38	1426	15,64	36,7	1,3
Chopine	CH2	2199	10	1779	12,48	57,1	0,5
Chopine	CH3	2160	16	1593	4,017	45,9	5,8

Annexe 4. Datation des céramiques du sondage 2, Kilian 2009

Par Sandra Chabert.

A4-1. Corpus de référence disponible

En ce qui concerne le corpus régional, essentiellement trois références bibliographiques sont à mentionner :

- la thèse de S. Guyot sur La céramique médiévale en Basse-Auvergne (2003), qui constitue la seule étude céramologique portant sur les céramiques médiévales de la région ;
- la publication, par S. Liegard, du site de Millefleurs, commune de Monteignet-sur-l'Andelot (Liegard 2003-2004). Ce site a livré de la céramique mérovingienne associée à une datation 14C qui a fourni une fourchette chronologique comprise entre les années 420 et 540 ; l'étude du mobilier céramique, confrontée à l'analyse radiocarbone a permis de dater l'ensemble céramique vers la fin du Ve ou le début du VIe siècle ;
- la publication, par S. Liegard et A. Fourvel, du site de Bel-Air sur la commune de Lapalisse (Liegard, Fourvel 2003). Ce site a, lui aussi, fait l'objet d'une analyse radiocarbone qui a fourni une datation comprise entre 780 et 990 de notre ère ; les comparaisons typologiques effectuées avec le site voisin de Coulanges (Liegard, Fourvel 2001), associées aux résultats du 14C, ont permis d'attribuer le lot céramique de Bel-Air au IX^e siècle.

A4-2. Quantification

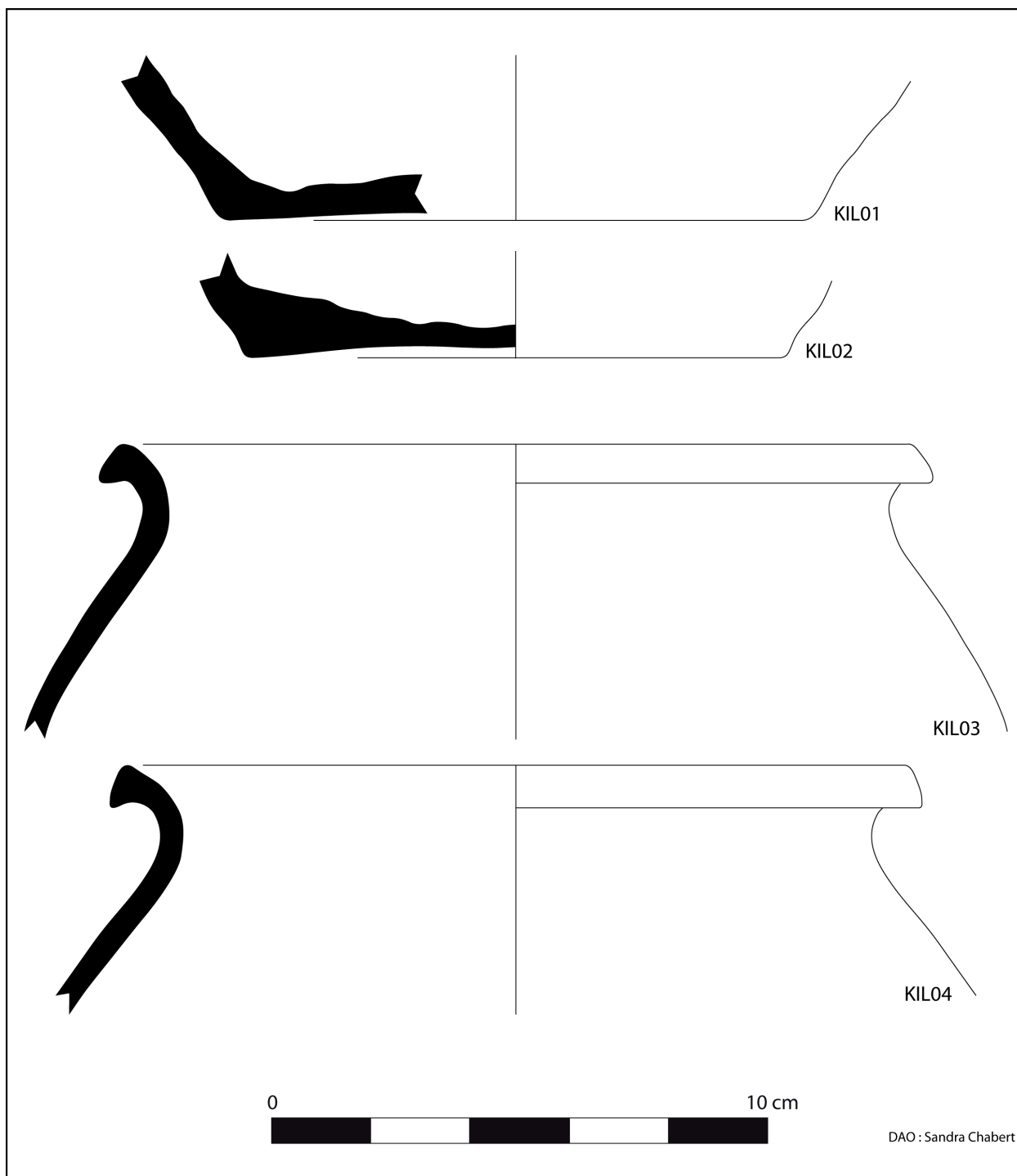
	Bords	Fonds	Panse	Total
Quantités	2	2	7	11

La céramique se compose de 11 tessons : 2 fragments de bords, 2 fragments de fonds et 7 fragments de panse.

A4-3. La pâte et la cuisson

L'ensemble des tessons présente une pâte sableuse et micacée, aux dégraissants de quartz et de mica. Elle est plus ou moins compacte selon les tessons, et peut-être qualifiée de semi-fine. Pour 10 des tessons (donc excepté le fond KIL01), la pâte semble correspondre à la céramique commune grise (CCG) répertoriée par S. Guyot (Guyot 2003). Ce groupe technique présente une pâte semi-fine, cuite en mode majoritairement réducteur, et présentant des inclusions de quartz et de mica. La surface peut être lissée à la main.

Un seul fragment (le fond KIL01) présente une cuisson oxydante, toutefois des traces de chauffe sont observées à l'intérieur du tesson. Les 10 autres tessons ont tous brûlé après leur fabrication, par défaut ils ont été répertoriés en cuisson réductrice.



Céramiques du sondage 2, Kilian 2009.

KIL01 : fond plat modelé ? - KIL02 : fond plat tourné - KIL03 et KIL04 : pots à petite lèvre triangulaire.

A4-4. Les formes

A4-4-1. Les bords

Les deux bords référencés correspondent à des pots à rebord triangulaire.

Cette forme de bord est référencée par S. Guyot (2003) sur plusieurs sites (Tourzel-Ronzières, Ronzières, et impasse Boudonnet, Lezoux, Puy-de-Dôme ; îlot Doyenné/République à Brioude, Haute-Loire) et est située dans une fourchette chronologique allant de la fin du V^e siècle au VII^e siècle, voire au début du VIII^e siècle.

Cette forme est également répertoriée par S. Liegard sur le site de Millefleurs (2003-2004) avec une datation comprise entre le VI^e et le VII^e siècle.

Outre ses comparaisons régionales, on peut également mentionner la présence de cette forme à Lyon (Horry 2000), durant la période mérovingienne (à partir de la fin du VI^e siècle), elle n'est pas présente dans les siècles suivant.

A4-4-2. Les fonds

Les fonds sont composés de deux fonds plats. L'un des exemplaires (KIL01), du fait de l'irrégularité de l'épaisseur de sa paroi, semble être modelé puis lissé au tour (traces circulaires extérieures). L'autre exemplaire (KIL02) présente des traces d'enlèvement du vase à la ficelle. Il est difficile de proposer une datation avec les seuls fonds, toutefois, ce type de fond plat est connu pour l'Antiquité et l'époque mérovingienne, il est beaucoup plus rare pour la période carolingienne.

A4-5. Conclusion

La datation des niveaux du sondage 2 contenant de la céramique peut ainsi être fixée durant l'époque mérovingienne, plus précisément entre la fin du Ve siècle et le VIIe siècle, voire la seconde moitié du VIIIe siècle.

A4-6. Bibliographie

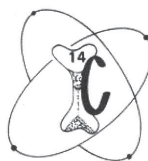
- Chabert 2008 : CHABERT (S.) – Les céramiques arvernes de l'Antiquité tardive, approche critique de la documentation bibliographique et archéologique disponible. Mémoire de master, Clermont-Ferrand, 2006-2008. 2 vol.
- Guyot 2003 : GUYOT (S.) – La céramique médiévale en Basse-Auvergne. Thèse de doctorat, Université de Paris I, 2003. 2 vol.
- Horry 2000 : HORRY (A.) – Lyon-Presqu'île : contribution à l'étude des céramiques du haut Moyen Âge. AMM, 18, 2000 : 1-26.
- Liegard, Fourvel 2003 : LIEGARD (S.), FOURVEL (A.) – Les habitats laténiens et carolingiens du site de « Bel-Air » à Lapalisse (Allier). RACF, 42, 2003 : 5-39.
- Liegard 2003-2004 : LIEGARD (S.) – L'habitat mérovingien de Millefleurs à Monteignet-sur l'Andelot (Allier). Les Cahiers Bourbonnais, 183, 2003-2004 : 65-71.

Annexe 5. Résultat d'analyse par le radiocarbone



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNITÉ MIXTE DE RECHERCHE N° 5138



CENTRE DE DATATION
PAR LE RADIOCARBONE

Université Claude Bernard Lyon 1
UFR des Sciences de la Terre

*Archéométrie et Archéologie :
Origine, datation et technologie des matériaux*

LABO. PHYSIQUE CORPUSCULAIRE
M. MIALLIER Didier
CAMPUS DES CEZEAX
63177 AUBIERE

Résultat d'analyse par le Radiocarbone

Identification de l'échantillon :

33491 Nom du site : CRATERE KILIAN -BOIS DE MANSON

Commune / Pays : ST GENES CHAMPANELLE /

Niveau / Couche : C690

Nature de l'échantillon : CHARBON

Observations
sur le traitement
effectué au laboratoire : R.A.S

Résultat de l'analyse :

Code laboratoire attribué : Ly-15114

Activité ^{14}C par rapport
au standard international : $81,82\% \pm 0,34$

Rapport isotopique
 $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C} (\text{‰})$: -22,81

Age ^{14}C BP : -1610 \pm 35

Age calibré : de 389 à 539 ap. J.-C.